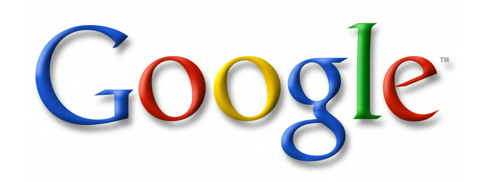
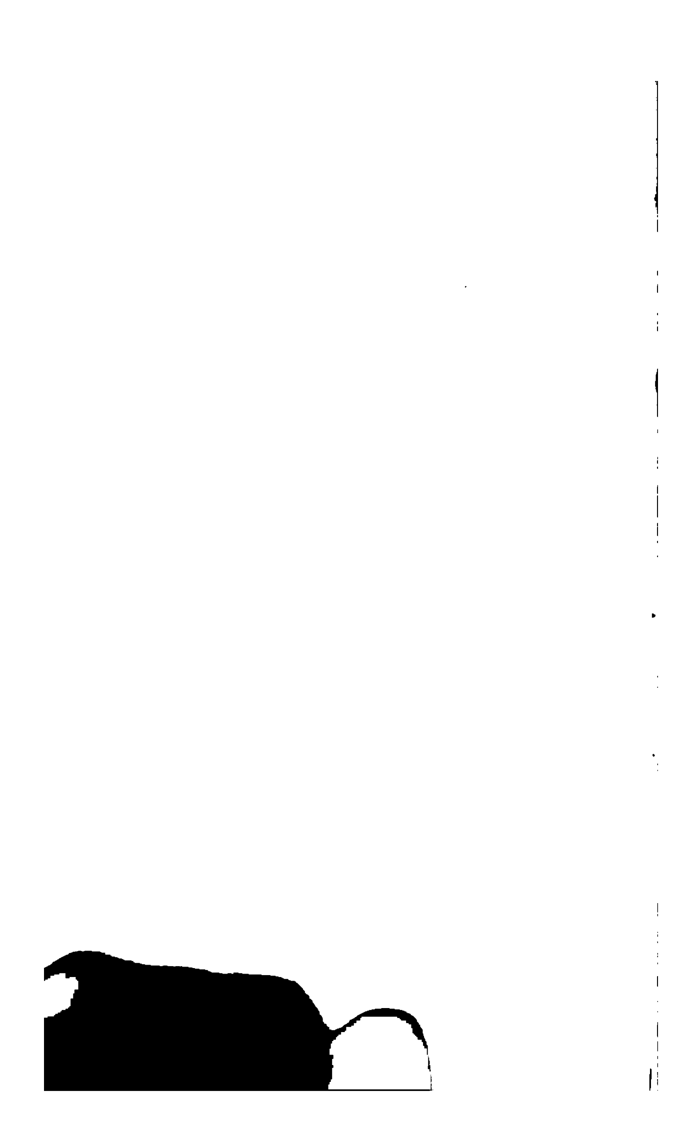




VFK
Janvi

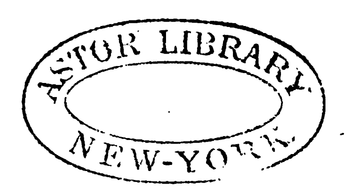




ENCYCLOPÉDIE-RORET.

NOUVEAU MANUEL
DES MACHINES
A VAPEUR
APPLIQUÉES A L'INDUSTRIE.

TOME I.

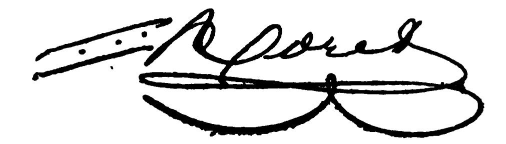


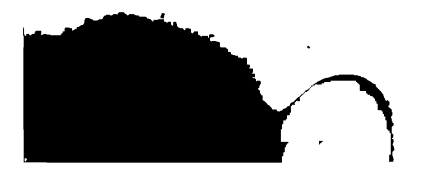
CHEZ RORET, RUE HAUTEFEUILLE, 10 BIS.

MANUEL DU CAPITAINE, DU CHAUFFEUR, ET DU CONSTRUCTEUR DE MACHINES A VAPEUR APPLIQUÉES A LA MARINE, par M. JANVIER, officier de marine. 1 vol. orné de figures, 3 fr. 50 cent.

AVIS.

Le mérite des ouvrages de l'*Encyclopédie-Roret* leur a valu les honneurs de la traduction, de l'imitation et de la contrefaçon. Pour distinguer ce volume i portera, à l'avenir, la *véritable* signature de l'éditeur.





MANUELS-RORET.

NOUVEAU MANUEL COMPLET DES MACHINES A VAPEUR APPLIQUÉES A L'INDUSTRIE;

PAR M. JANVIER.

TOME PREMIER.

Ouvrage orné de figures.

PARIS,

A LA LIBRAIRIE ENCYCLOPÉDIQUE DE RORET,

RUE HAUTEFEUILLE, N° 10 BIS.

1838.

a
e
p





NOUVEAU MANUEL
COMPLET
DES MACHINES
A VAPEUR
APPLIQUÉES A L'INDUSTRIE.

CHAPITRE PREMIER.

DE LA CHALEUR.

La cause de la chaleur paraît être encore inconnue. Quelle qu'elle soit, nous n'en considérerons les effets que dans ce qui se rapporte à notre objet spécial, sans prendre part à des discussions théoriques qui n'ont produit que des systèmes, que des découvertes nouvelles tendent encore à modifier.

Les physiciens ont admis comme principe que la chaleur est en opposition avec la force de cohésion ou d'attraction, et que tandis que cette dernière puissance tend à rapprocher les molécules intégrantes de la matière, la chaleur tend incessamment à les sé-

parer. La chaleur dilate les corps, les rend liquides et les fait même passer à l'état gazeux; il est très probable que si la température de notre planète était suffisamment accrue, toute la matière solide serait réduite à l'état liquide, et tous les liquides prendraient la forme gazeuze.

Nous avons sur notre globe des exemples frappans des différens états que la température de plusieurs de ses régions peut produire sur la matière; les substances telles que le beurre, l'huile, l'eau, etc. sont solides aux pôles et fluides sous l'équateur; l'éther, liquide dans nos pays, conserve la forme gazeuse dans les régions intertropicales, et le mercure, que nous ne voyons qu'à l'état liquide, devient concret ou solide comme un métal, dans les régions polaires.

L'effet le plus immédiat produit par la chaleur est la dilatation ou l'expansion des corps, il nous paraît inutile d'en fournir des exemples, au moins pour les solides. Cette dilatation des corps par la chaleur ou leur contraction par le froid est d'une haute importance dans les arts: aussi ces effets ont-ils été l'objet d'une étude assidue de la part des physiciens, qui ont aperçu quelques divergen-

ces dans plusieurs des substances qui composent le règne minéral; c'est ainsi que l'argile se contracte par la chaleur, et que les métaux en fusion tels que le fer, le bismuth, l'antimoine, se dilatent dans le moment de leur solidification par le froid, et se contractent en repassant à l'état liquide.

La dilatation des solides homogènes est trois fois aussi grande que la dilatation linéaire, et aucun obstacle n'est capable de la contrarier. Il en est de même des liquides, et si l'on soumet à l'action de la chaleur un vase plein d'eau, il éclatera indubitablement s'il est trop fortement bouché.

L'expansion de l'air par la chaleur n'est pas moins facile à démontrer, car si l'on renverse un vase plein d'air sur une cuvette d'eau, il s'échappera par bulles à mesure qu'on lui appliquera la chaleur, et l'eau remplacera l'air aussitôt qu'on la supprimera. On connaît le thermomètre, qui sert à mesurer la température de l'atmosphère, des gaz, des liquides, dans lesquels on plonge cet instrument; le pyromètre sert à mesurer la température des solides.

Les différens effets qui se lient à l'expansion ou à la dilatation des corps, peuvent se ré-

sumer en ceux-ci : presque tous les corps sont dilatés par la chaleur et contractés par le froid, et les gaz sont plus expansibles que les solides et les liquides. Plusieurs liquides sont différemment dilatés pour un même degré de chaleur; mais les gaz, les vapeurs et l'air le sont également et uniformément. Dans les mêmes corps solides ou liquides, la dilatation pour une température donnée, n'est pas la même à une température différente. L'expansion des gaz et des vapeurs séparés des liquides qui les ont produit est égale 0,00375 pour chaque degré du thermomètre centigrade. Quant à la dilatation des solides, voici la table que le docteur *Ure* en a dressé.

TABLE DE LA DILATATION LINÉAIRE DES SOLIDES PAR LA CHALEUR.

Dimensions que prend à 100 *degrés centigrades, une barre dont la longueur à* 0° *est* 1.

Verre en tubes.	Smeaton.	1,00083333
Idem.	Général Roy.	1,00077615
Idem.	Deluc.	1,00082800
Idem.	Petit et Dulong.	1,00086130
Idem.	Lavoisier, Laplace.	1,00081166
Verre en plaque.	*Idem.*	1,00089089
Crown-glass.	*Idem.*	1,00087572
Idem.	*Idem.*	1,00089760
Verre (en baguettes)	Général Roy.	1,00080787
Sapin.	*Idem.*	1,00080787
Platine.	Borda.	1,00085655

Platine.	Dulong et Petit.	1,00088420
Idem.	Troughton.	1,00099180
Idem (et verre).	Berthoud.	1,00110000
Palladium.	Wollaston.	1,00100000
Antimoine.	Smeaton.	1,00108300
Fonte de fer prismat.	Roy.	1,00110940
Fonte de fer.	Lavoisier.	1,00111111
Acier.	Troughton.	1,00118990
Acier (baguettes).	Roy.	1,00114470
Acier boursoufflé.	Tra. ph. 1795, 428.	1,00112500
Idem.	Smeaton.	1,00115000
Acier non trempé.	Lavoisier, Laplace.	1,00107875
Idem.	*Idem.*	1,00107956
Idem trempé jaune.	*Idem.*	1,00136900
Idem. Idem.	*Idem.*	1,00138600
Id. à une chal. pl. élev.	*Idem.*	1,00123956
Acier.	Troughton.	1,00118980
Acier dur.	Smeaton.	1,00122000
Acier recuit.	Muschenbroeck.	1,00127000
Acier trempé.	*Idem.*	1,00137000
Fer.	Borda.	1,00115600
Fer.	Smeaton.	1,00125800
Fer doux forgé	Lavoisier, Laplace.	1,00122045
Fer rond passé à la fil.	*Idem*	1,00123504
Fil de fer.	Troughton.	1,00244010
Fer.	Dulong et petit.	1,00118273
Bismuth.	Smeaton	1,00139200
Or recuit.	Muschenbroeck	1,00146000
Or.	Ellicot, par compar.	1,00150000
Idem au titre.	Lavoisier, Laplace.	1,00146606
Id., Paris, non recuit.	*Idem.*	1,00155155
Idem recuit.	*Idem.*	1,00151361
Cuivre.	Muschenbroeck.	1,0019180
Idem.	Lavoisier, Laplace.	1,00172244
Idem.	*Idem.*	1,00171222
Idem.	Troughton.	1,00191880
Idem.	Dulong et Petit.	1,00171821
Laiton.	Borda.	1,00178300
Idem.	Lavoisier, Laplace	1,00186671
Idem.	*Idem.*	1,00188971
Laiton en écaille sup-		

posé de Hambourg.	Roy.	1,00187540
Fonte de laiton.	Smeaton.	1,00187500
Laiton angl. en plaq. et en baguettes.	Roy.	1,00189280
Idem en forme d'auge.	*Idem.*	1,00189490
Laiton.	Troughton.	1,00191880
Fil de laiton.	Smeaton.	1,00193000
Laiton.	Muschenbroeck.	1,00216000
Cuivre, 8; étain, 1.	Smeaton.	1,00181700
Argent.	Herbert.	1,00189000
Idem.	Ellicot, par comp.	1,00210000
Idem.	Muschenbroeck.	1,00212000
Idem de coupelle.	Lavoisier, Laplace.	1,00190974
Idem au tit. de Paris.	*Idem.*	1,00190868
Argent.	Troughton.	1,0020826
Laiton, 16 p., étain 1.	Smeaton.	1,00190800
Métal de miroir.	*Idem.*	1,00193300
Soudure de Zinc; laiton, 2 parties; zinc, 1.	*Idem.*	1,00205800
Etain de Malacca.	Lavoisier, Laplace.	1,00193765
Etain de Falmouth.	*Idem.*	1,00217298
Potée fine.	Smeaton.	1,00228300
Etain en grenaille.	*Idem.*	1,00248300
Etain.	Muschenbroeck.	1,00284000
Soudure molle; plomb, 2 parties; étain, 1.	Smeaton.	1,00250800
Zinc 8; étain 1, un peu battu.	*Idem.*	1,00269200
Plomb.	Lavoisier, Laplace.	1,00284836
Idem.	Smeaton.	1,00286700
Zinc.	*Idem.*	1,00294200
Idem réduit au marteau à ½ de son épaisseur.	*Idem.*	1,00301100
Verre de 0° à 100°.	Dulong et Petit.	1,00086130
Idem de 100 à 200°	*Idem.*	1,00086130
Idem de 200 à 300°	*Idem.*	1,000101114

Les deux dernières mesures ont été prises au moyen d'un thermomètre à air.

Pour obtenir l'expansion en volume, il



faut multiplier les quantités décimales par trois.

Expansion des liquides en volume, quand on les chauffe de zéro à 100 degrés centigrades.

Mercure	Dalton.	0,020000
Idem.	Cavendish.	0,018870
Idem.	Deluc.	0,018000
Idem.	Général Roy.	0,017000
Idem.	Schukburg.	0,018510
Idem.	Lavoisier et Laplace.	0,018100
Idem.	Hallstroem.	0,018180
Idem.	Dulong et Petit.	0,0180180
Idem de 100 à 200° c.	*Idem.*	0,0184331
Idem de 200 à 300°.	*Idem.*	0,0188700
Idem dans le verre, de o à 100°.	*Idem.*	0,015432
Idem de 100 à 200°.	*Idem.*	0,015680
Idem de 200 à 300°.	*Idem.*	0,0158280
Eau à partir de + 4°, maxim. de densité.	Kirvan.	0,04332
Acide muriatiq., pes. spécifique 1,137.	Dalton.	0,0600
Acide nitrique, pes. sp. 1,40.	*Idem.*	0,1100
Acide sulfur, pes. spéc.	*Idem.*	0,0600
Alcool.	*Idem.*	0,1100
Eau.	*Idem.*	0,0460
Eau saturée de sel com.	*Idem.*	0,0500
Ether sulfurique.	*Idem.*	0,0700
Huiles fixes.	*Idem.*	0,0800
Huile de térébenthine.	*Idem.*	0,0700
Eau saturée de sel com.	Robison.	0,05198

Pour le mercure et les substances dont Dalton a mesuré l'expansion en volume, les quantités indiquées dans cette table, sont trop grandes très probablement.

Une des plus importantes applications de l'expansibilité des fluides consiste dans la construction du thermomètre. Cet instrument se compose d'un tube de verre presque capillaire, qui est terminé à son extrémité inférieure par une boule. Ce tube et sa boule sont en partie remplis de mercure très pur. On le bouche hermétiquement à la lampe, mais auparavant on a soin d'échauffer l'instrument jusqu'à ce que par suite de la dilatation du mercure il s'épanche par l'extrémité supérieure qui doit être immédiatement après scellée à la lampe. L'instrument étant retiré du feu, il se refroidit; le mercure se contracte, et l'espace abandonné par le métal reste complètement vide d'air. Alors l'instrument est achevé, il ne reste plus qu'à construire son échelle. Pour cela on le plonge dans un bain de neige ou de glace fondante, et on marque zéro à l'endroit où se termine la contraction du métal. Après cela on plonge le même instrument dans l'eau bouillante, (sous la pression atmosphérique de 76 cent.) et là où s'arrête encore le métal par suite de son expansion, on marque 100. C'est le point d'ébullition de l'eau pure. Tel est le thermomètre françois dit centigrade, parce que l'in-

tervalle compris entre le point de congélation et celui de l'ébullition est divisé en 100 parties égales ou degrés. Les Anglais emploient une autre division dite de Fahrenheit, qui consiste à marquer 32 au point de la glace fondante et 212 à celui de l'eau bouillante, de sorte que l'intervalle comporte 180 divisions ou degrés. Un degré de ce dernier instrument est donc égal à $\frac{5}{9}$ de degré centigrade, ou ce dernier à $1+\frac{4}{5}$ de degrés Fahrenheit, et le 144me degré de Fahrenheit, par exemple, est égal à $144-32\times\frac{5}{9}=62$.

Nous avons déjà établi que la liquidité est le résultat de la chaleur, que tous les solides peuvent être liquefiés, et que beaucoup d'entr'eux ainsi que les liquides, peuvent être vaporisés pourvu que la chaleur appliquée soit suffisante. Il n'y a pas lieu à douter que tous les liquides parviendraient à l'état solide si nous avions la faculté de produire un froid assez intense. Plusieurs gaz, par le concours du froid et d'une certaine pression, ont été convertis en liquides, et dernièrement, M. Thilorier (1836, octobre), a présenté à l'Académie des sciences du gaz acide carbonique d'abord liquéfié, rendu ensuite à l'état solide ou congelé.

La température à laquelle les corps solides se convertissent en liquides est appelée le point de fusion. Et celle à laquelle les corps liquides se solidifient, se nomme le point de congélation.

Table des différens degrés de température auxquels différens liquides se solidifient.

Ether sulfurique.	— 43°,33c
Ammoniaque liquide.	— 43,33
Acide nitrique (pes. spécif. 1,424).	— 43,55
Acide sulfurique (pes. spécif. 1,6413).	— 42,77
Mercure.	— 39,44
Acide nitrique (pes. spécif. 1,407).	— 34,53
Acide sulfurique (pes. spécif. 1,8064).	— 32,22
Acide nitrique (pes. spécif. 1,3880).	— 27,83
Idem. (pes. spécif. 1,2583).	— 27,65
Idem. (pes. spécif. 1,3290).	— 19,66
Eau-de-vie	— 21,66
Acide sulfurique (pes. sp. 1,8376).	— 17,22
Acide prussique pur.	— 15,55
25 parties de sel commun et 75 d'eau.	— 15,55
22,2 *Idem* et 77,8 *Idem.*	— 13,77
20 part. de muriate d'ammon. et 80 d'eau.	— 13,33
10 part. de sel commun. sur 90 d'eau.	— 12,50
16,1 *Idem* sur 83,9 d'eau.	— 10,27
Huile de térébenthine.	— 10,00
Vins forts.	— 6,66
Tartrate de potasse et d'ammoniaque, en égales proportions).	— 6,11
10 parties de sel commun sur 90 d'eau.	— 5,80
Huile de bergamotte.	— 5
Sang.	— 3,89
6,25 part. de sel commun sur 93,75 d'eau.	— 3,66
12,50 *Idem* de nitre sur 87,50 d'eau.	— 3,33
4,16 de sel commun sur 95,84 d'eau.	— 2,50
41,6 parties de couperose sur 68,4 d'eau.	— 2,22
Vinaigre.	— 2,22
53,3 p. de sulfate de zinc sur 46,7 d'eau.	— 2,5
Lait.	— 1,11
Eau.	— 0,00



Huile d'olive.	+ 2,22
Parties égales de soufre et de phosphore.	+ 4,44
Acide sulfurique (pes. spécif. 1,741)	+ 5,36
Idem (pes. spécif. 1,780)	+ 7,78
Huile d'anis.	+ 10,00
Acide acétique concentré.	+ 10,00

Points de fusion

Suif.	Docteur Thompson.	+ 33,33
Phosphore.		+ 42,22
Stéarine provenant de graisse de porc.		+ 42,78
Spermacetti.		+ 44,44
Suif.	Nicholson.	+ 52,78
Acide margarique.		+ 56,67
Potassium.		+ 56,88
Cire jaune.		+ 61,11
Idem.		+ 65,00
Cire blanche.		+ 68,33
Sodium.		+ 90,00
Soufre.	Docteur Thompson.	+ 103,33
Idem.	Docteur Hope.	+ 112,22
Etain.		+ 227,77
Bismuth.		+ 246,66
Plomb.		+ 322,22
Zinc.	Sir H. Davy.	+ 360,00
Idem.	M. Brongniart.	+ 370,00
Antimoine.		+ 431,66

La température à laquelle les corps se liquéfient est fixe, pour chacun d'eux, mais celle à laquelle ils se congèlent peut-être modifiée par plusieurs circonstances. Quelques liquides sont susceptibles d'être refroidis, au-dessous de leur point de congélation ordinaire, sans pour cela affecter la forme solide.

L'eau est dans ce cas : exposée peu à peu à une température au-dessous de zéro, de

— 5° à — 11° elle ne prend pas la forme solide; mais si dans cet état on jette au-dessus un petit morceau de glace, à l'instant même elle se congèle. Il en est de même si on lui imprime un léger mouvement d'oscillation. De semblables phénomènes s'observent dans les solutions salines. Une forte solution de sulfate de soude recouverte d'une légère couche d'huile, peut être refroidie jusque 27°, 7 centigrades sans se congeler; si dans cet état on la remue avec la main, elle ne change pas encore de forme, tandis que si on place le vase qui la contient sur une table vibrante, à l'instant même elle se congèle.

Un fait remarquable attaché au refroidissement des corps au-dessous de leur point de congélation, est qu'au moment où leur solidification s'opère, la température de la masse s'élève au point de congélation. Si on expose à une température d'environ 6° une certaine quantité d'eau liquide, dès qu'on aura laissé tomber un morceau de glace dans le vase, ou qu'on lui aura imprimé un mouvement vibratoire, cette eau se congèlera instantanément et prendra sa température de 0°. L'observation de ce fait curieux est due au docteur Black; il explique ce



qu'on appelle le calorique latent ou de fluidité. Ce physicien suspendit, l'un à côté de l'autre, deux globes de verre d'égales capacités, l'un rempli de glace à 32° (Fahrenheit), et l'autre d'eau à 33°; Dans une demi-heure la température de l'eau s'est élevée à 40° (F.), mais il fallut 10 heures et demie pour liquéfier complètement la glace et élever la température à 40°. Dans cette expérience, on observera que 7° de chaleur se sont introduits dans le globe d'eau pendant une demi-heure, et qu'il en a fallu 21 pour ramener la masse de glace à la température de 40°. Si du produit $7 \times 21 = 147°$, nous soustrayons 7° que l'eau a acquis en dessus de 33°, nous aurons 140° pour la quantité de chaleur qui se sera produite. C'est cette quantité de calorique qu'on nomme latent ou calorique de fluidité.

La chaleur latente de différentes substances a été indiquée dans le tableau suivant du docteur Irvine.

Soufre.	79. 36 centi.
Spermacetti	79. 75
Plomb.	89. 10
Cire d'abeilles.	96. 25
Zinc.	271. 15

Étain 275. 00
Bismuth. 302. 00

La somme de chaleur qui disparaît dans la liquéfaction des solides explique aussi la cause de l'abaissement de température qui a lieu dans leur dissolution, et nous permet d'obtenir artificiellement du froid par le moyen des mélanges refrigérans. Un mélange de neige et de sel, produit un froid artificiel de 21°. Plus la liquéfaction est rapide, plus le froid est grand. Si on place sur le feu un vase contenant de la glace, et au milieu de cette glace un tube de verre contenant de l'eau, cette dernière, en peu de secondes, se congèlera. La solution de tous les sels cristallisables est accompagnée d'un abaissement de température d'autant plus grand que le sel est plus soluble. Il en est de même de quelques métaux. Un amalgame de bismuth et un autre de plomb dans le moment du mélange, produiront un abaissement de température remarquable.

Beaucoup d'essais variés ont été faits sur les mélanges frigorifiques; mais ils ne sauraient prendre place dans un ouvrage de la nature de celui-ci.

Des phénomènes semblables se présentent dans la vaporisation des liquides. Si on place



sur le feu un vase contenant de l'eau, l'oreille est d'abord frappée d'un bruit qui résulte de la vaporisation et de la condensation successives des particules fluides contre les parois du fond du vase. A mesure que l'eau s'échauffe, ce bruit devient plus intense, et ne finit qu'à l'époque de l'ébullition. A ce point la température de l'eau cesse de s'élever et reste stationnaire jusqu'à ce que toute l'eau ait disparu par l'évaporation.

Pour mesurer la quantité de chaleur consommée par la vaporisation d'une quantité d'eau déterminée, le docteur Black place sur une plaque de fer rouge de chaleur un vase plein d'eau à 9°, 9 cent.; en 4 minutes elle arrive au point d'ébullition, et au bout de 24 minutes, elle est totalement évaporée; de + 9°,9 à 100, la différence est 90°, 9 cent, c'est la quantité dont l'eau s'est échauffée en 4 minutes. Mais elle a employé cinq fois autant de tems pour être convertie en vapeur, nous aurons donc $90 \times 5 = 450°$ pour la quantité de chaleur qui a été consommée ou qui a pris la forme latente pendant la conversion de l'eau en vapeur. Par des expériences postérieures, on a trouvé que la chaleur latente de la vapeur d'eau variait de 532 à 550°.

L'époque à laquelle les liquides émettent de la vapeur d'une tension égale à celle de l'atmosphère n'est pas la même pour chacun d'eux : on peut s'en assurer par la table suivante.

Terme d'ébullition de plusieurs liquides.

	Therm. centig.
Éther, (pes. spéc. 0,7365 à 26°). . .	38. 0
Alcool, (pes. spéc. 0,813).	77. 5
Acide nitrique, (pes. spéc. 1,500) . .	97. 9
Eau.	100. 0
Solution saturée d'eau et de sel. . .	105. 6
Acide muriatique, (pes. spéc. 1,094).	110. 0
Huile de térébenthine.	156. 2
Acide sulfurique (pes. spéc. 1,300). .	114. 4
Huile de lin.	334. 4
Mercure.	343. 0

Le point d'ébullition du même liquide varie selon la pression de l'atmosphère et selon la nature du vase qui le contient. Le point d'ébullition de l'eau sous la pression atmosphérique de 0m 76, dans un vase d'argent est à 99,5 cent. et dans un vase en poterie à 100,8. L'eau bout dans le vide à 28° et l'alcol à 10°. Le docteur Wolaston a trouvé qu'une dénivellation de mercure de 0,589 de pouces dans le baromètre correspond à une différence de 0,55° centigrades dans le point d'ébullition de l'eau.

Si l'eau est enfermée dans un vaisseau clos, sa température dépasse bientôt 100°, celle de la vapeur également, et comme la pression de cette dernière est toujours relative à sa température, quand elle est saturée, elle dépasse bientôt en force celle de l'atmosphère, et devient ce qu'on appelle de la vapeur à haute pression. On verra par les tables insérées dans cet ouvrage, que l'eau à l'état de glace produit déjà de la vapeur; on y trouvera aussi les différens degrés d'élasticité de cette même vapeur à diverses températures. L'eau à l'état de vapeur à cent degrés centigrades occupe un volume 1694 fois plus grand : c'est l'évaluation de M. Gay Lussac; les anglais ont adopté 1728, parce que ce chiffre s'accorde avec la capacité du pied cube, c'est-à-dire, qu'un pouce cube d'eau équivaudrait à un pied cube de vapeur à 100°.

Nous avons déjà dit que la chaleur latente de la vapeur d'eau était d'environ 550°, le docteur Ure a obtenu les résultats suivans pour d'autres liquides.

Vapeurs d'eau.	521°, 4.
— d'alcool, (pes. spéc. 0825).	236.
— de l'éther, (p. s. 0,112). . .	168.
— du pétrole	83. 3.
— de térébenthine.	81.

Vapeurs d'acide nitr. (p. s. 1,494).	287.	2.
— d'ammon. liq. (p. s. 0,978).	466.	
— de vinaigre, (p. s. 1,007). .	483,	3.

On voit par cette table que les liquides n'exigent pas tous la même quantité de chaleur pour être totalement convertis en vapeur. Tous les corps ne demandent pas non plus la même quantité de chaleur pour être ramenés à un même degré de température. Si on mêle une livre d'eau à 15° avec une livre d'huile à 32° la température du mélange sera de 20°,9 au lieu d'être de 23,6 ; et réciproquement si on mélange une livre d'eau à 32° avec une livre d'huile à 15°, la température du mélange sera de 26,4. Dans la première expérience, nous voyons que l'huile a perdu 11°,1 et l'eau a acquis 5°, 9. Dans la seconde, l'huile a gagné 11°, 4 tandis que l'eau a perdu 5°,6. Donc il est évident que la chaleur spécifique de l'eau est à peu près double de celle de l'huile, ou ce qui revient au même que la quantité de chaleur qui élève la température de l'huile de 11°4 ne peut élever celle de l'eau que de 5, 6. On dit alors que la capacité de l'eau, pour le calorique, est double de celle de l'huile. Celle de l'eau étant 1000, elle sera 500 pour l'huile. De semblables effets s'observent en plaçant dans un même fourneau du mercu-

re, de l'huile et de l'eau, le mercure commencera à s'échauffer, l'huile ensuite et après l'eau.

Le système de la chaleur spécifique donne une importante explication de la constitution de l'air atmosphérique. La chaleur spécifique de l'air diminue plus lentement que sa pesanteur spécifique, et quand l'air est dilaté de quatre fois son volume, sa chaleur spécifique est de 0,540 ; quand il est dilaté de huit fois, sa chaleur spécifique devient 0,368. Les densités 1, $\frac{1}{2}$, $\frac{1}{4}$, $\frac{1}{8}$ correspondent aux chaleurs spécifiques 5, 4, 3, 2, de là on peut expliquer la cause de l'intensité du froid qui règne sur le sommet des hautes montagnes, et la grande chaleur développée par la compression des gaz. Une compression qui réduit l'air aux $\frac{4}{5}$ de son volume est suffisante pour enflammer de l'amadou, et si l'expérience se fait avec un tube de verre transparent, on aperçoit une vive lumière qui accompagne la compression.

Nous avons expliqué avec brièveté la plupart des phénomènes que présente l'action de la chaleur sur les corps; pour compléter ce que nous avons à dire, il nous reste à parler de sa conductibilité et de son rayonnement.

Si on expose au feu l'extrémité d'une verge de fer, quelle que soit sa dimension, la chaleur

ne se fera pas sentir immédiatement à l'autre extrémité de la barre, et si on répète l'expérience sur d'autres verges de différens métaux, mais de même calibre et soumises à un feu d'égale intensité, on verra que l'époque à laquelle la chaleur parviendra aux extrémités sera différente pour chacune d'elles. Cette faculté plus ou moins grande de conduire la chaleur constitue ce qu'on a appelé le *pouvoir conducteur des corps*. Il varie selon la nature des corps, et diminue à mesure qu'ils s'échauffent davantage. Les meilleurs conducteurs sont les métaux, et nous en donnerons une table à l'article concernant les chaudières.

Tous les corps ne sont pas également bons conducteurs de la chaleur, et parmi ceux qui la conduisent très imparfaitement, on distingue particulièrement les pierres, le verre, les résines, les briques, l'argile; le bois vient après. Mais le charbon est de toutes les substances connues le plus mauvais conducteur du calorique. En effet, il est très facile de tenir à la main un fragment de charbon, d'une médiocre grosseur, tandis qu'une portion de son volume est incandescent. La plume, la soie, la laine, le poil sont de mauvais conducteurs, et c'est sur cette propriété qu'est

fondé le choix des matières qui composent nos vêtemens. Le comte de Rumford, qui a fait beaucoup d'expériences sur le pouvoir conducteur de ces substances, a trouvé également que la finesse des tissus diminuait singulièrement ce même pouvoir conducteur.

Les liquides paraissent être de très mauvais conducteurs, et s'ils s'échauffent c'est plutôt par déplacement que par conductibilité; on peut s'en convaincre en jetant dans un vasse de verre exposé au feu, quelque poussière d'une pesanteur spécifique égale à celle de l'eau et on les verra obéir aux courans qui se produisent dans la masse liquide. Les couches les plus voisines du foyer s'échauffent les premières, se dilatent et remontent à la surface en vertu de leur pesanteur spécifique diminuée. D'autres couches d'eau plus froides et plus pesantes, par conséquent, remplaçent les premières et ainsi de suite. Ainsi donc tous les moyens employés, dans ces derniers tems, et dont nous nous proposons d'examiner plus tard les effets, pour produire mécaniquement un déplacement du liquide dans les chaudières, sont au moins inutiles.

Comme il est infiniment probable que les liquides doivent leur défaut de conductibilité

à la mobilité de leurs particules, on peut aussi en inférer que les gaz sont de plus mauvais conducteurs, en raison de la mobilité encore plus grande des molécules qui les constituent. Qui n'a pas été témoin des mouvemens de rotation qu'éprouvent les spirales en cartes que l'on suspend sur un pivot aux environs des cheminées d'un poêle. Et n'a-t-on pas utilisé la puissance de ces courans ascendans de la part de l'air échauffé, pour imprimer aux tourne-broches leur mouvement de rotation.

Quoique les recherches sur le pouvoir conducteur des gaz soient extrêmement difficiles, cependant M. Leslie est parvenu a établir que la conductibilité des gaz diminue par suite de leur dilatation, et que les vapeurs en général, diminuent la faculté conductrice de l'air atmosphérique; que cette faculté conductrice de la chaleur est à peu près la même pour l'air atmosphérique, que pour le gaz oxigène et azote. Elle est beaucoup moindre dans le gaz acide carbonique; mais le gaz hydrogène, au contraire, possède un pouvoir conducteur quadruple de celui de l'air atmosphérique.

On entend par rayonnement du calorique,



la faculté dont jouissent les corps, de se mettre en équilibre de température avec les corps environnans. Cette faculté existe toutes les fois que les corps en présence ne sont point dans un équilibre parfait de température; elle agit en raison directe de la température et de l'étendue des surfaces; le rayonnement est à son maximum quand il est perpendiculaire à la surface du corps rayonnant; il diminue en raison de leur obliquité, et n'est modifié en rien par la nature du corps qui rayonne; mais il n'en est point de même quant à la nature de sa surface, et si une boule de plomb ne rayonne pas davantage le calorique qu'une boule de bois de même calibre et de même température, cet effet cependant variera selon que leurs surfaces seront polies ou dépolies, enduites de telles ou telles substances. Voici une table qui est due à M. Leslie :

Substances.	Pouvoir rayonnant.	Substances.	Pouvoir rayonnant.
Noir de fumée......	100	Plombagine........	75
Papier à écrire......	98	Colle de poisson....	75
Résine.............	96	Plomb net.........	19
Cire à cacheter.....	95	Plomb terni........	45
Crown-glass........	90	Fer poli............	15
Encre de Chine.....	88	Feuille d'étain......	12
Glace..............	85	Cuivre.............	12
Minium............	80	Or et argent........	12
Eau........	100 par estimation	et mercure...	20

Les métaux rayonnent très peu, mais on peut augmenter leur rayonnement en rendant leurs surfaces abruptes, ou en détruisant leur poli. Il est au reste remarquable que quand on veut obtenir un effet de rayonnement en enduisant un corps poli d'une couche de colle ou de toute autre matière facile à s'étendre en couches minces, le rayonnement augmente jusqu'à la cinquième couche, et reste stationnaire dès que l'épaisseur totale de la colle est de 0,026 de millimètres.

On doit établir une différence entre le rayonnement et la réflexion du calorique, cette dernière faculté est à peu près en raison inverse de la première, et on devait le prévoir. De plus la faculté réfléchissante est d'autant plus grande que les surfaces d'incidence sont plus unies ou polies. Si l'on place un écran en verre transparent entre deux corps de températures inégales, d'abord le rayonnement sera intercepté ; ensuite l'écran s'échauffant, il rayonnera le calorique qui l'a traversé, mais toujours amoindri. Des circonstances peuvent modifier l'effet de l'écran : son éloignement du corps rayonnant, son épaisseur en diminueront le rayonnement, il y aura interception complète, si l'écran offre



une surface métallique parfaitement polie à son foyer. Si les deux surfaces de l'écran sont noires, la réflexion sera presque nulle.

Il resulte de ce que nous venons de dire que les métaux sont les meilleurs réflecteurs du calorique. Voici encore un tableau où M. Leslie à indiqué le pouvoir réflecteur de plusieurs substances.

Substances.	Pouvoir réflecteur.	Substances.	Pouvoir réflecteur.
Laiton	100	Étain étendu de mercure	10
Argent	90	Verre	10
Étain en feuilles	85	Verre couvert de cire ou d'huile	5
Etain	80		
Acier	70		
Plomb	60		

CHAPITRE II.

DE LA VAPEUR.

L'eau est, à peu près, le seul liquide dont la vapeur est employée à produire le mouvement des machines dont nous avons à nous occuper. On a fait des essais multipliés sur d'autres liquides; l'alcool ou esprit de vin, l'acide carbonique ont été mis à contribution; d'autres, tels que le mercure, l'huile, ont été employés comme véhicule, ou comme

moyens de transmission du calorique. Mais la vapeur d'eau continue à être l'agent principal de la force mouvante de toutes les machines aujourd'hui en usage, et c'est aussi d'elle dont nous nous occuperons d'une manière particulière.

Quelques personnes attribuent aux particules qui composent la vapeur une forme vésiculaire, infiniment mince, semblable aux bulles qui se forment contre les parois chauffées des vases, très impressionnables aux variations de température et susceptibles d'être transparentes dans un milieu ambiant d'égale température. A la dernière supposition près, qui n'est point une hypothèse, cette opinion équivaut à un système qui, ainsi que beaucoup d'autres, ne saurait être discuté dans cet ouvrage. Les connaissances que nous possédons aujourd'hui sur la vapeur d'eau, suffisent à l'explication des résultats que nous en obtenons, et nous nous contenterons de l'étudier dans ses effets, depuis sa formation jusqu'à l'époque où sa puissance peut être utilisée comme force mouvante.

Par l'inspection de la table ci-après; on peut voir que l'eau à une température même inférieure à celle de la glace fondante, pro-

duit déjà une force élastique appréciable, et qu'à — 20°, elle fait équilibre à une colonne de mercure de 1^{mill}, 133.

A cette époque de température, l'eau est à l'état de glace. Et si on l'admet sous cette forme dans un vase exposé au feu, sa température s'élevera, et à 0°, elle reprendra la forme liquide en diminuant de volume, d'environ $\frac{1}{14}$.

En augmentant toujours de température, on croirait que ce liquide, suivant la loi ordinaire de tous les autres, ainsi que celle des solides, devrait augmenter en volume; mais il en est autrement, et il est bien confirmé que de 0° à + 4°, l'eau se contracte, et que ce n'est qu'à partir de cette époque, désignée sous le nom de *maximum de densité*, qu'elle obéit à la loi de dilatation qui lui est propre. Du point de son maximum de densité à 100° l'eau se dilate d'environ $\frac{1}{21}$; à ce terme, elle entre en complette ébullition, et sa vapeur est en équilibre avec la pression de l'atmosphère. Voici comment on peut s'en convaincre.

Dans la chambre barométrique d'un baromètre, faites passer une goutte d'eau (1);

(1) La chose est facile à faire : le tube étant renversé et plein de mercure, videz une légère portion

d'abord cette goutte d'eau, en arrivant dans la chambre barométrique, émettra instantanément une quantité de vapeur, relative à la température du moment, tandis qu'une portion conservera son état liquide; le niveau du mercure baissera d'une certaine quantité.

Remarquons en passant, que si dans de pareilles circonstances, on enfonce davantage le tube du baromètre dans la cuvette, le sommet de la colonne de mercure restera constamment à la même hauteur, à partir du niveau de la cuvette, et que cette immobilité se conservera encore, si on donne à l'instrument un mouvement ascendant contraire.

Ainsi donc, dans ces diverses positions, la vapeur d'eau ne s'est point comprimée ni détendue; elle variait seulement en quantité et en

du métal, et remplacez-la par une goutte d'eau; bouchez ensuite avec le doigt et replongez ce tube ainsi bouché dans la cuvette. Vous verrez aussitôt la goutte d'eau traverser le mercure et venir occuper le sommet de la colonne dans la chambre barométrique. Cela fait, retirez le doigt, alors la colonne de mercure s'abaissera à une hauteur qui dépendra de la pression actuelle de l'atmosphère et de la quantité de vapeur d'eau qui se formera dans la chambre barométrique de l'instrument.

raison inverse du volume de l'eau au-dessus de laquelle elle s'était formée, c'est-à-dire qu'il se produisait une nouvelle quantité de vapeur à pression égale, au dépend du volume de l'eau, quand l'espace était agrandi; elle se condensait, et repassait à l'état liquide dans le cas contraire. Dans les deux cas, la longueur de la colonne de mercure suspendue, restait exactement la même, et mesurait par sa longueur comparée à celle d'un baromètre en fonction, la tension effective de la vapeur dans le vide barométrique, relativement à la température du moment.

Ainsi donc la vapeur d'eau ne se comprime pas, quand elle ne change pas de température; elle varie seulement en quantité, comme l'espace qui la contient varie lui-même en grandeur.

Maintenant, soumettons notre instrument entier à une chaleur progressivement croissante; alors les quantités de vapeur et leurs tensions augmenteront graduellement avec elle, le niveau du mercure s'abaissera à mesure, et quand la température aura atteint 100 degrés, on remarquera que la colonne de mercure a baissé jusqu'au niveau de la cu-

vette. Or avant d'introduire la goutte d'eau dans la chambre barométrique, la longueur de la colonne de mercure était de 0m,76, égale à celle qui mesure la pression de l'atmosphère : donc la force de tension qui a pu l'abaisser ainsi jusqu'au niveau de la cuvette ne peut être que la même; en un mot, la force élastique de la vapeur d'eau à 100 degrés de température, est égale à la puissance de l'atmosphère. C'est-à-dire à un k.,033 par centimètre carré de surface (1) ou 0 k,81 par centimètre circulaire.

Dans l'expérience que nous venons d'indiquer, nous supposons que la petite quantité d'eau introduite dans la chambre barométrique était suffisante pour fournir un volume de vapeur capable de remplir ou saturer la capacité du tube. Mais il peut en être autrement si, par exemple, dans notre expérience, à mesure que l'appareil approchait de la température de 100 degrés, le liquide eût manqué pour fournir une quantité suffisante de vapeur, le niveau supérieur de la colonne sus-

(1) Cette quantité de 1k 033 est la valeur en poids d'une colonne de mercure de 0m 76 de longueur et de un centimètre carré de surface de base, ou encore d'une colonne d'eau de 10m 39 (32 pieds) de longueur et de même base.

pendue, malgré l'addition de chaleur, ne serait pas descendu jusqu'à celui de la cuvette. Supposons, cependant, que par un moyen quelconque, on soit parvenu à l'obliger à descendre jusque là; alors l'espace agrandi, et la vapeur ainsi dilatée dans une capacité trop grande, eussent été dessaturés. On sait, au reste déjà, qu'un centimètre cube d'eau liquide peut fournir environ 1700 centimètres cubes de vapeur à 100 degrés; ainsi donc, une capacité plus grande que 1700 fois le volume de l'eau destinée à être convertie en vapeur sera dessaturée comme aussi la vapeur contenue; l'espace et la vapeur seront saturés quand la capacité sera égale à 1700 fois le volume d'eau en question, et encore quand cet espace sera plus petit que le chiffre 1700. Mais dans ce dernier cas, comme nous l'avons dit plus haut, une portion de vapeur se réduira de nouveau à l'état liquide.

La vapeur d'eau dessaturée, séparée du liquide qui l'a produit, ne possède plus la même vertu de dilatation et de puissance, que celle qui se trouve en contact avec un excès de liquide; elle rentre dans le cas des fluides élastiques permanens, secs et non comprimés, c'est-à-dire, que sa dilatation

pour 100 degrés centésimaux n'est plus que de 0,375 ; tandis que la force élastique de la vapeur d'eau saturée et en contact avec le liquide, croîtra pour une même température dans le rapport de 1 à 160.

Ici nous observerons une circonstance particulière, c'est que, bien que la vapeur d'eau soit en contact avec un excès de liquide, il est encore possible qu'elle ne soit point saturée, et ce cas arrivera quand la chaleur sera appliquée à la vapeur, et que l'eau inférieure restera immobile sans participer au feu du foyer. Mais nous reviendrons plus tard sur ce sujet important.

L'instrument qui nous a servi à mesurer la puissance élastique de la vapeur d'eau à des températures qui ne sont pas supérieures à 100 degrés, et à prouver qu'à la pression habituelle de l'atmosphère, cette même vapeur d'eau à 100 degrés lui fait équilibre, n'est point applicable à la mesure des fortes pressions qu'elle éprouve quand, sans cesser d'être saturée, on élève la température au-delà de 100 degrés. Un autre appareil, dans ces derniers tems, a servi pour l'observer en pareilles circonstances.

Cet appareil se compose d'une capacité

hermétiquement bouchée, et destinée à contenir l'eau qui doit produire la vapeur dont on veut mesurer la tension. D'une solidité bien éprouvée, cette chaudière est armée d'un manomètre bouché et d'un manomètre ouvert, prolongé indéfiniment; un thermomètre lui était pareillement adapté, de telle façon que la pression intérieure de la vapeur sur le tube et la boule, ne pût en aucune manière fausser les indications de cet instrument. C'est au moyen d'un appareil semblable, qu'on est parvenu à pousser la chaleur jusqu'à 224° centigrades, et par suite, la pression de la vapeur jusqu'à 24 atmosphères. Voici la table qui fut le résultat de ces expériences :

TABLE

Des forces élastiques de la vapeur d'eau, et des températures correspondantes d'une à 24 atmosphères, d'après l'observation, et de 24 à 50 atmosphères par le calcul (1).

(1) Cette table est le principal résultat d'un grand travail que le Gouvernement avait demandé à l'Académie des sciences. Les expériences pénibles et souvent très dangereuses dont elle offre, pour ainsi dire, le résumé, ont éte faites par MM. *Dulong* et *Arago*.

(*Voir le tableau ci-contre.*)

ÉLASTICITÉ de la vapeur expr. en atmosphères.	ÉLASTICITÉ en mètres de mercure.	TEMPÉRATURE correspondant au thermomètre centigrade	PRESSION sur un centimètre carré.	PRESSION sur un centimètre circulaire.
1	0,76	100	1,033	0,81
1 ½	1,14	112,2	1,549	1,21
2	1,52	121,4	2,066	1,62
2 ½	1,90	128,8	2,582	2,03
3	2,28	135,1	3,099	2,435
3 ½	2,66	140,6	3,615	2,840
4	3,04	145,4	4,132	3,222
4 ½	3,42	149,06	4,648	3,700
5	3,80	153,08	5,165	4,05
5 ½	4,18	156,8	5,681	4,44
6	4,56	160,2	6,198	4,76
6 ½	4,94	163,48	6,714	5,27
7	5,32	166,5	7,231	5,67
7 ½	5,70	169,37	7,747	6,08
8	6,08	172,1	8,264	6,49
9	6,84	177,1	9,297	7,30
10	7,60	181,6	10,33	8,12
11	8,36	186,03	11,363	8,91
12	9,12	190	12,396	9,73
13	9,88	193,7	13,429	10,54
14	10,64	197,19	14,462	11,35
15	11,40	200,48	15,495	12,17
16	12,16	203,6	16,528	12,98
17	12,92	206,57	17,561	13,78
18	13,68	209,4	18,594	14,59
19	14,44	212,1	19,627	15,41
20	15,20	214,7	20,660	16,22
21	15,96	217,2	21,693	17,02
22	16,72	219,6	22,726	17,84
23	17,48	221,9	23,759	18,95
24	18,24	224,2	24,792	19,46
25	19,00	226,3	25,825	20,27
30	22,80	236,2	30,990	24,33
35	26,60	244,85	36,155	28,38
40	30,40	252,55	41,520	32,59
45	34,20	259,52	46,485	36,49
50	38,00	265,89	51,650	40,54

Dans la table qui précède, les températures correspondantes aux tensions de plus de 24 atmosphères, ont été calculées par la formule $t = \frac{\sqrt{e - 1}}{0{,}7183}$ où e, exprime l'élasticité en atmosphères, et t, la température à partir de 100 degrés, en prenant l'intervalle de 100° pour unité. On a de fortes raisons pour croire que l'erreur ne serait pas de 1° à 50 atmosphères.

Les auteurs des expériences dont nous venons de donner les résultats, éprouvèrent beaucoup de difficultés à faire monter la pression au-dessus de 20 atmosphères, et ils ne purent, avec leur appareil, dépasser celle de 24 atmosphères.

Deux inductions paraissent devoir en être tirées : 1° qu'il y a plus de garanties contre les explosions avec les chaudières des machines à haute pression; 2° que ces appareils consomment une quantité plus grande de combustible que les machines à basse pression, et je m'explique.

En général, les chaudières des machines à vapeur sont éprouvées à une pression triple de celle qu'elles sont appelées à supporter dans leurs fonctions habituelles. Une chau-

dière destinée à produire de la vapeur à 8 atmosphères, doit résister à une pression d'épreuve de 24, tandis que celle à basse pression, qui ne doit fournir qu'une vapeur tendue à plus d'un cinquième d'atmosphère, n'est éprouvée qu'aux $\frac{3}{5}$ d'une pression atmosphérique. Or, nous avons vu plus haut combien, à mesure que la pression s'élevait, il était difficile de l'augmenter davantage, puisque à une certaine époque, tous les efforts devenaient inutiles pour la faire monter; donc il sera bien plus facile de dépasser les limites de résistance dans une chaudière à basse pression, que dans celle où l'on agit avec une pression plus élevée. Toutefois, hâtons-nous de le dire, les unes et les autres rentrent dans les conditions communes d'explosion, qui sont la suite de la dessaturation de la vapeur, et dont nous aurons plus tard à nous occuper d'une manière toute particulière.

Mais, si dans les cas cités plus haut, les chaudières à vapeur à haute pression offrent une garantie de plus contre les explosions, les mêmes expériences qui nous ont conduit à le prouver, nous fourniront aussi des argumens pour démontrer combien l'emploi de

la vapeur à haute pression est désavantageuse sous le rapport de l'économie du combustible. En effet, dans l'appareil dont nous avons parlé plus haut, et qui a servi à obtenir les pressions élevées de vapeur, on n'en dépensait pas, aucune machine n'était mise en mouvement avec elle, et ses fonctions se bornaient à appuyer sur le mercure des manomètres : or, si à mesure que la pression et la température s'élevaient, l'appareil finissait par perdre en rayonnement tout le calorique ajouté, il eût été, à fortiori, de toute impossibilité de faire mouvoir la machine la plus faible avec de la vapeur à 24 atmosphères. Tandis qu'en laissant tomber la pression, on serait arrivé à une époque où le rayonnement n'enlevant plus complètement tout le calorique ajouté, il eût été possible de dépenser utilement une certaine portion de la vapeur produite.

On a déjà vu, d'ailleurs, à l'article où nous traitions de la chaleur, que la transmission ou pénétration du calorique, était en raison inverse des équilibres de températures, ou ce qui est la même chose, en raison directe des différences de températures qui existent entre le corps chauffant et le corps chauff-

Or, on arrivera d'autant mieux au cas d'équilibre, qu'on agira avec une pression plus tendue, et par conséquent avec une plus haute température. Il y aura donc plus de calorique perdu, ce qui nécessitera une consommation plus grande de combustible.

C'est par suite de cette règle, confirmée d'ailleurs par l'expérience, qu'on cherche à rompre, autant que possible, l'équilibre des températures, en alimentant les chaudières dans la partie intérieure de leur capacité qui reçoit la dernière impression du feu, ou la plus petite somme de chaleur (1).

(1) Une faute que nous n'avons pas eu le tems de redresser s'est glissée à ce sujet dans le Manuel du Chauffeur, dont l'impression a précédé celle de cet ouvrage de quelques semaines.

Voyez dans ce Manuel le paragraphe qui commence à la 18e ligne de la page 21, et qui semble prescrire le contraire de ce que nous venons d'indiquer. Mais cette faute ne donne lieu à aucune conséquence grave, et peut même être interprétée dans un sens favorable.

Car, quoi qu'en disent les auteurs, il est à peu près indifférent d'alimenter les chaudières à l'origine des fourneaux ou au terme des carneaux : dans l'un et l'autre cas, l'eau alimentaire établit une différence de température avantageuse à la pénétration du calorique. Toutefois l'abaissement de température qui résultera de l'alimentation à l'extrémité

Parmi tous les motifs qui militent contre l'emploi des machines à haute pression, il en est encore deux qui nous paraissent d'une haute importance.

Le premier repose sur ce que les dépôts ou les incrustations salines dans les chaudières sont beaucoup plus considérables et plus adhérens au métal que dans celles des machines à basse pression. Les chaudières à haute pression, pour résister à l'effort qu'elles doivent supporter, sont composées de cylindres de petit diamètre très multipliés, et il résulte de cette disposition que, pour aborder les parties intérieures tapissées de sels, on est dans l'obligation d'avoir recours à des démontages fréquens, presque toujours destructeurs et tout-à-fait inconciliables avec un service régulier.

D'un autre côté, ces appareils évaporatoires à haute pression sont sujets à des perturbations particulières dont il importe de donner connaissance. Nous avons dit plus haut qu'ils se composaient d'une réunion de pe-

des carneaux, peut occasioner un abaissement de température dans la fumée ou les gaz qui s'échappent par la cheminée, et compenser ainsi par la diminution de tirage, l'avantage qui peut résulter de l'équilibre rompu dont nous avons parlé ci-dessus.

tites capacités ou bouilleurs cylindriques plus ou moins multipliés ; quelquefois c'est la flamme qui circule dans l'intérieur de ces tubes, quelquefois c'est l'eau destinée à engendrer la vapeur. Dans ce dernier cas, toutes ces petites capacités doivent communiquer entr'elles par des tubulures qui servent en outre de points d'appui, et la flamme ou l'air échauffé circule en dehors et tout autour de ces capacités. Or, il arrive quelquefois que celles de ces capacités qui sont les plus voisines du foyer se vident d'eau. Ce liquide est refoulé dans les bouilleurs supérieurs ou dans les réservoirs de vapeur. On croit les choses en bon état parce que les robinets et les tubes jauges marquent un bon niveau, et cependant le désordre de l'appareil est presqu'à son comble. Alors si l'alimentation est dirigée au milieu d'une de ces chambres de vapeur, cette dernière se condense brusquement et peut produire l'écrasement des tubes, mais dans tous les cas de fortes secousses. L'eau revient ensuite se mettre en contact avec le métal surchauffé, repoussée de nouveau, elle va encore occuper la partie la moins chaude de l'appareil, pour retourner ensuite à sa première place, par secousses,



quand un nouvel effet de condensation a lieu.

Les Américains, si partisans autrefois des machines à vapeur à haute pression, commencent à les abandonner aujourd'hui. Et en Angleterre, depuis long-tems, on a reconnu les désavantages attachés à l'emploi de ces machines. Le peu de connaissances ou d'expériences que nous possédons sur la chaleur latente de la vapeur d'eau à haute pression, et sur sa densité en pareille circonstance, rendent très contestables les argumens des calculs théoriques qui ont servi à démontrer son avantage, et nous penchons à croire qu'elle ne peut être d'une utilité réelle que dans les localités qui manquent d'eau pour la condensation, et dans les voitures locomotives qui, déjà très chargées par le poids d'un appareil simple, de la quantité d'eau nécessaire à la production de la vapeur, ne sauraient encore transporter avec elles l'appareil de condensation et la provision d'eau indispensable à cette œuvre, dont la quantité doit être au moins 24 fois $\frac{1}{2}$ plus grande.

On a trouvé les moyens de s'opposer à l'irradiation du calorique, par des substances tellement peu conductrices, que les pertes qui

peuvent en résulter sont presqu'annihilées, surtout à terre, où ni l'espace, ni le poids des appareils ne peut gêner l'emploi de pareils procédés. Ainsi on ne saurait arguer de la petitesse des appareils, pour recommander l'emploi de la vapeur à haute pression.

L'avantage qu'on a trouvé à l'emploi de la vapeur à trois atmosphères, dans les machines de Woolf, à deux cylindres et à détentes, est susceptible de discussion; car la plupart des machines de Wat, mises en opposition ou en concurrence, n'agissaient point avec détente, et dans presque toutes ces dernières machines, la vapeur y possède encore une tension plus grande que celle de l'atmosphère, d'environ $\frac{1}{5}$ de sa valeur. Or, la vapeur avec cette pression est renvoyée au condenseur, tandis que dans son trajet, elle pourrait encore être employée utilement à faire mouvoir une seconde machine, de moindre force sans doute, mais dont la puissance pourrait s'ajouter à l'effet principal. La perte de ce cinquième d'atmosphère est d'autant plus notable, qu'elle est relative à des cylindres d'une très grande capacité, telle qu'il les faut pour l'emploi de la vapeur à basse pression.

Quand on fait bouillir de l'eau dans un vase ouvert, la vapeur s'échappe dans l'atmosphère pendant l'ébullition, et on remarque que cette vapeur et l'eau du vase ne dépassent jamais la température de 100° centigrades, quelle que soit d'ailleurs l'intensité du feu et le tems de l'ébullition. C'est le docteur Black qui a eu le premier l'honneur de découvrir ce que devenait la chaleur pendant l'ébullition de l'eau. Nous avons déjà eu l'occasion de signaler le procédé par lequel il parvint à reconnaître que la chaleur latente de la vapeur d'eau saturée à 100° de température était de 450 degrés. Mais la moyenne de beaucoup d'expériences faites après Black, a donné pour la chaleur latente de la vapeur à 100°, la quantité de 540 degrés. Or, si à ces 540 degrés on ajoute les 100° qui ont été employés à ramener l'eau à l'état d'ébullition on aura 640 pour la chaleur tant sensible que latente, que contient la vapeur d'eau.

Avant M. Clément, chimiste français, on avait très peu de notions sur la chaleur latente de la vapeur d'eau à d'autre pression que celle de l'atmosphère; mais ce savant a trouvé par ses expériences que la chaleur totale de la vapeur, c'est-à-dire la somme de

chaleur tant talente que sensible, contenue dans un poids donné de vapeur, est la même dans tous les cas, sous n'importe quelle température ou quelle pression elle soit formée.

Ainsi donc, il suffit de retrancher la température sensible de la vapeur d'eau de 650 degrés, pour avoir la quantité de chaleur de vaporisation affectée à chaque espèce de vapeur. Et il résulterait encore de la loi trouvée par M. Clément, que passé 650 degrés de température, la vapeur d'eau ne contiendrait plus du tout de chaleur latente ou de vaporisation.

Quand on chauffe un peu d'eau dans un vase fermé qu'on a eu soin de purger d'air, tout l'espace se remplit insensiblement de vapeur, attendu que rien ne s'oppose à sa formation. D'abord cette vapeur est d'une élasticité très faible; mais à mesure que la chaleur augmente, sa densité et son élasticité augmentent simultanément; à chaque degré d'accroissement de température correspond un certain degré d'élasticité et de densité; enfin, à 100 degrés, ces deux états sont précisément ce qu'ils seraient à l'air libre.

Si on continue à élever la température de l'appareil, [illegible] devient de plus en plus

dense et plus tendue. A 122 degrés, la pression est double de ce qu'elle était à 100, et à 145 degrés environ, elle est quadruple; sa densité croît à peu de chose près dans le même rapport (1). L'accroissement de l'élasticité de la vapeur paraît être sans bornes, car elle finit toujours par faire éclater les vases les plus résistans. L'effort qu'elle exerce sur un centimètre carré de surface à 145 degrés,

(1) La densité de la vapeur a été calculée sur la supposition qu'elle se comportait par la pression comme l'air et les gaz secs, dont la dilatation commune est de $\frac{1}{267}$ pour chaque degré centigrade. Voici quelques résultats de calcul, en admettant qu'un volume d'eau à 100° occupe un espace 1700 fois plus grand à l'état de vapeur, ce qui ne s'écarte pas beaucoup de l'évaluation de M. Gay-Lussac.

Pression en atmosphères.	Densité de la vapeur, celle de l'eau étant 1.
1	0,000589
1 ½	0,000855
2	0,001114
2 ½	0,001367
3	0,001614
3 ½	0,001818
4	0,002070
4 ½	0,002300
5	0,002562
5 ½	0,002732
6	0,003050
7	0,003473
8	0,003930

est de 4,1 kilogrammes, et celui qu'elle exerce à 181°, est de 10 k. 33. Tandis que la pression de l'air atmosphérique pour cette même température relative à cette pression, n'est que de 1 k. 033, par centimètres carrés de surface, c'est-à-dire qu'elle est égale à celle de la vapeur à 100 degrés. La vapeur, comme nous l'avons déjà dit, possède un degré de densité relatif à chaque degré de température correspondant, et dans tous ces cas, elle est constamment saturée, car l'eau en excès peut toujours fournir ce qui est nécessaire pour la tension maximum correspondant à sa température.

De même que la vapeur, en présence d'un excès de liquide, devient de plus en plus élastique et dense à mesure qu'on élève sa température, de même son élasticité et sa densité décroissent dans le cas contraire. Mais alors une portion de la vapeur se réduit en eau, tandis que l'autre prend une tension et une densité relatives au degré de température auquel elle a été abaissée.

Si donc on remplit de vapeur d'eau un vase hermétiquement bouché, et qu'on abaisse la température, une partie de cette vapeur reprendra la forme liquide, tandis que le reste



descendra à la tension et à la densité relative à la température nouvelle, comme dans le cas précédent, où le vase contenait un excès de liquide.

Il en est autrement quand on échauffe un vase qui ne contient que de la vapeur. Alors la vapeur s'échauffe sans se charger d'une plus grande quantité d'eau; sa densité est invariable, et son élasticité ne s'accroît que dans le rapport commun à tous les gaz, c'est-à-dire de 0,00375, pour chaque degré centésimal.

L'expérience a aussi appris que quand l'air est mélangé avec la vapeur, il prend un volume égal à celui de la vapeur, et que cette dernière a la même densité que celle qu'elle doit avoir au degré de température de l'air avec laquelle elle se trouve en contact, et que par là l'élasticité de l'air est augmentée de celle de la vapeur.

Nous avons déjà dit que dans un vase ouvert, la température de l'eau ne peut s'élever au-dessus de 100°, et que dans les vases bouchés elle peut s'élever à peu près indéfiniment.

Mais il en est autrement si le vase est percé d'une petite ouverture. Dans le cas où l'ou-

verture est assez petite pour qu'il s'échappe moins de vapeur qu'il s'en forme, l'élasticité et la température doivent croître sans cesse, mais plus lentement que quand le vase est entièrement fermé. Comme la vitesse d'écoulement augmente avec la tension, il doit y avoir un terme où la quantité de vapeur qui s'échappe et celle qui se produit sont en équilibre, de sorte que l'élasticité et la température doivent atteindre à un maximum qui ne pourra pas être dépassé pour une ouverture d'une grandeur définie.

Ce maximum arrive d'autant plus promptement que la dimension de l'ouverture est plus grande, la production de vapeur restant d'ailleurs la même.

Quand le vase est d'une solidité très grande, il y a même une époque où, sans qu'il soit ouvert comme ci-dessus, la température ajoutée à l'appareil se perd entièrement par son rayonnement dans l'espace. Ce dernier cas admet la supposition qu'on soit arrivé à une limite de température tellement excessive qu'elle ne puisse plus être dépassée, et que l'appareil soit placé dans un milieu conducteur de calorique, au milieu de l'air atmosphé[illegible]le, qui tout mauvais

conducteur qu'il soit, l'est encore davantage qu'une enceinte de maçonnerie en briques réfractaires.

Les expériences sur l'écoulement de la vapeur par un orifice pratiqué aux appareils évaporatoires, ne sont pas nombreuses: aussi celles de M. Christian n'en sont que plus précieuses.

L'appareil dont s'est servi ce physicien français se composait d'une petite chaudière cylindrique munie d'un thermomètre qui plongeait dans la vapeur, pour en indiquer la température; d'un flotteur qui indiquait par son abaissement la quantité d'eau vaporisée; d'une petite pompe foulante, au moyen de laquelle on introduisait de l'eau dans la chaudière; enfin il avait ménagé à sa chaudière une ouverture destinée à recevoir différentes plaques percées de trous de plusieurs calibres.

Les parois intérieures de la chaudière avaient une surface de 364,000 millimètres carrés (487 pouces carrés), et elle contenait pendant l'expérience 10 litres d'eau, (10 kilogrammes) qui recouvraient une surface de 190,000 millimètres carrés, (234 pouces carrés).

A la première expérience, cette chaudière fut exposée à un feu très vif.

Les températures maxima pour diverses ouvertures furent celles-ci.

Pour une ouverture	de 36 mill. carrés.	105°,5 centig.
Id.......	de 18...........	115,0
Id.......	de 9...........	138,0
Id.......	de 30,5.........	112,0
Id.......	de 122...........	101,0
Id.......	de 490...........	100,0

Cette dernière température est égale à celle de l'eau bouillante à l'air libre, sous la pression atmosphérique de 0m,76. Dans toutes ces expériences, un kilogramme d'eau a été réduit en vapeur dans l'espace de trois minutes. (1).

(1) On pourrait être surpris que 254 pouces carrés de surface de chauffe vaporisent un tiers de kilogramme en une minute, et que par suite, 762 pouces carrés ou 5 pieds et un tiers soient capables d'en vaporiser un kilogramme, attendu que les chaudières ordinaires qui présentent, en général, 16 ou 20 pieds carrés de surface de chauffe, ne vaporisent qu'un kilogramme d'eau ; mais cela se conçoit, puisque la chaudière était entièrement exposée à l'action d'un feu très ardent.

Peut-être y a-t-il erreur à conclure de ces expériences qu'il passe toujours la même quantité de chaleur avec la [illegible], lorsque la surface de la chaudière et les [illegible] mêmes. En effet, la pénétration

D'après les expériences précédentes, il paraît que l'eau ne peut pas s'échauffer au-delà de 101°, quelqu'actif que soit le feu, quand l'ouverture par laquelle la vapeur s'échappe, n'est que la $\frac{1}{1560}$ partie de la surface de chauffe; au-delà de 112 degrés quand l'ouverture en est la $\frac{1}{6250}$ partie; enfin au-delà de 138 degrés, quand cette ouverture en est la $\frac{1}{31000}$ partie. Ainsi une si petite ouverture limite même avec le feu le plus actif, la tension de la vapeur à 3,5 atmosphères.

Dans une seconde série d'expériences, le feu fut modéré de telle sorte, que la température fut toujours stationnaire à 101 degrés sous les diverses ouvertures. Ainsi donc, l'élasticité de la vapeur fut toujours la même (1,03 atm.) ainsi que la vitesse d'écoulement; par conséquent, plus l'ouverture était petite, plus la formation de la vapeur

du calorique étant en raison inverse des équilibres de températures, on ne peut pas douter que quand la température du feu reste toujours la même, il y a moins de chaleur absorbée par une chaudière dont l'eau est à 138° de température, et par conséquent production moindre de vapeur que lorsque l'eau est à la température de 100 degrés, puisque dans ce dernier cas, la différence de chaleur entre le corps chauffant et le corps chauffé est plus grande.

est due à la contraction de la veine fluide dont nous venons de parler.

CHAPITRE III.

DE LA CONDENSATION.

L'opération de la condensation consiste à soustraire le plus rapidement possible d'une capacité quelconque la vapeur d'eau qui s'y trouve contenue, et cela par sa réduction immédiate à l'état d'eau liquide. Quand le vase est bouché, la place qu'occupait la vapeur reste parfaitement vide, ou du moins, à peu de chose près, comme nous le verrons tout-à-l'heure.

Dans le Manuel du Chauffeur de bâtiment à vapeur, auquel nous empruntons ce que nous venons de dire, nous avons aussi spécifié qu'en général la vaporisation des liquides pouvait être considérée comme le résultat de la combinaison du calorique avec les particules du fluide, que le retour des mêmes vapeurs à l'état liquide pouvait s'entendre dans un sens [illegible] c'est-à-dire comme résul- [illegible] même calorique des

particules fluides qu'il divisait, c'est cette même séparation qui constitue l'œuvre de sa condensation.

Pour condenser la vapeur d'eau, ou bien encore, pour lui soustraire son calorique assez spontanément afin que cette action puisse être utilisée dans les machines à vapeur, on a employé deux procédés qui consistent, le premier à injecter au milieu de sa masse, ou dans son trajet au condenseur, un filet d'eau froide, et le second à mettre la vapeur en contact avec des capacités maintenues froides au moyen d'un bain d'eau extérieur.

Si on refroidit un pied cube de vapeur à 100° jusqu'à la température de 40°, les onze douzièmes passeront à l'état liquide, la densité de la vapeur restante sera 12 fois moindre, et sa pression sera 14 fois plus faible. Cette vapeur est encore saturée, mais d'une manière relative à sa température c'est-à-dire à 40°.

Le pied cube de vapeur contient environ 650 degrés de chaleur de vaporisation; ainsi donc, en admettant que la température est relative aux densités, celle qui restera dans l'appareil ne contiendra plus que $\frac{1}{12} \times 650 = 54°$ et l'eau produite que $\frac{11}{12} \times 40° = 36$.

vapeur primitive aura donc perdu 54° + 36° = 90° par l'effet de la condensation.

Dans l'origine des machines à vapeur, la condensation s'opérait dans les cylindres mêmes. On injectait dans leur capacité intérieure de l'eau froide; mais quoique cette méthode donnât lieu à une condensation spontanée, il en résultait aussi un inconvénient très grave, en ce que le cylindre était incessamment refroidi par suite de cette injection. Aujourd'hui la condensation s'opère dans un vase séparé et fermé, où s'injecte l'eau froide; et les tiroirs des cylindres mettent en tems convenable ces dernières capacités en communication avec le vase séparé, ou condenseur, de telle sorte, qu'il participe au vide qui s'y produit.

L'œuvre de la condensation dépend : 1° de la température à laquelle la vapeur doit être abaissée; 2° de la densité de la vapeur, et de son volume; 3° de la température de l'eau d'injection.

La chaleur totale de vaporisation étant de 650°, s'il est question de liquéfier à une température T une quantité N de vapeur, il faudra donc lui soustraire (650°—T), ce qui deman-

dera $\frac{650-T}{T-t}\times N$ d'eau froide à une température t.

Soit $N=4^k$, $T=40°$ centigrades, et $t=12°$ on aura $\frac{650-40}{40-12}\times 4=87^k,6$ d'eau ou à peu près vingt-deux fois la quantité de vapeur à condenser. Si $T=50°$, $t=15°$ et $N=1$, on aura $\frac{650-50}{50-15}=\frac{600}{35}$ ou environ 17^k d'eau à 15° nécessaire pour convertir en eau à 50° 1 kilog. de vapeur. x étant la quantité d'eau à t de température nécessaire pour condenser un kilogramme de vapeur, la température de l'eau, après la condensation, sera égale à $\frac{650+tx}{x+1}$; et si, $x=20^k$ et, $t=12$, nous aurons $\frac{650+12\times 20}{20+1}=42,3$ pour la température de l'eau après la condensation.

Dans les machines à vapeur à double effet, chaque coup de piston correspond à une consommation de vapeur double de la capacité du cylindre. De plus la vapeur n'étant pas détendue dans ces machines, on doit considérer sa densité comme égale à celle qui existe dans l'appareil évaporatoire.

Un cylindre de 5 pieds de longueur sur deux de diamètre, offrant une capacité égale à 15,7 pieds cubes; le double de cette capa-

cité nous donnera 31,4 pieds cubes de vapeur qu'il s'agira de condenser. En admettant que la tension soit de 4,5 pouces au-dessus de celle de l'atmosphère. La densité de la vapeur sera 1500 fois plus faible que celle de l'eau; ainsi donc, en admettant que le pied cube d'eau pèse 60 livres', nous aurons pour le poids d'un pied cube de vapeur à la tension de 45 pouces, $\frac{60}{1500} = \frac{1}{25}$ et nous aurons à condenser à chaque coup de piston $\frac{31,4}{25} = 1,22$ livres de vapeur.

Or, en admettant la moyenne de 20 livres d'eau froide à la température ordinaire de l'atmosphère pour la quantité nécessaire à la condensation d'une livre de vapeur, il en faudra donc 24,4 livres : on en prend ordinairement 30, c'est-à-dire un demi-pied cube. Telle est la quantité d'eau que la pompe à air doit enlever du condenseur à chaque coup de piston. La course du piston étant d'un pied et demi, sa surface devra être de 48 pouces carrés.

D'après ce qui précède, on doit voir qu'il est nécessaire d'employer une grande quantité d'eau, pour n'obtenir qu'une condensation imparfaite; les résultats sont encore bien plus inférie[illegible]au de condensation est

moins froide, ou qu'on veut obtenir une température plus basse après la condensation.

La tension de la vapeur à 30 degrés n'étant que d'un pouce moindre qu'à 40°, et comme il faut environ deux fois plus d'eau pour obtenir le premier état; il en résulte qu'il n'est pas avantageux de pousser la condensation trop loin.

Si au contraire, on ne voulait condenser la vapeur que jusqu'à la température de 60 ou 70 degrés, une moins grande quantité d'eau serait nécessaire; mais d'un autre côté la vapeur conserverait encore une trop forte élasticité.

Pour condenser une livre de vapeur jusqu'à 70 degrés avec de l'eau à 12°, on n'a besoin que de $\frac{650-70}{70-12} = 10$ livres d'eau. Mais à cette température, la tension de la vapeur est encore égale à un tiers de la pression atmosphérique, tandis qu'à 40°, elle n'en est que le quart.

Dans les machines de Wat, de moyenne grandeur, on estime ordinairement qu'un pied cubé d'eau (30 k. environ) converti en vapeur, correspond à la force d'un cheval par heure; on peut donc porter au moins à 20 ki-

logrammes, la quantité d'eau nécessaire à la condensation. Ainsi une machine de la force de vingt chevaux, exigera au moins 12000 kilogrammes d'eau froide par heure ou 200 par minute.

Une pareille quantité d'eau froide ne se trouve pas dans toutes les localités; aussi un procédé au moyen duquel on parviendrait à employer toujours la même masse d'eau, ou qui permettrait de la refroidir assez pour la rendre efficace à l'œuvre de la condensation, serait un grand perfectionnement apporté aux machines à vapeur, particulièrement à celles qui sont adaptées aux voitures locomotives.

A ce sujet, voici la description d'un appareil de condensation applicable aux voitures locomotives des chemins de fer, pour lequel M. Nickool d'Elham, près de Cantorbéry, a pris une patente.

L'appareil ou plutôt le réfrigérant en question, consiste en une série de surfaces de métal ou d'étoffes, arrangées horizontalement à côté les unes des autres, et à égales distances, de manière à ce qu'un courant d'air frais atmosphérique puisse continuellement passer au travers en les enveloppant. Le refrigérant

est susceptible d'être ouvert au vent par les côtés; ou bien il est enfermé dans une boîte ou chariot ayant une chambre d'introduction et d'expulsion, percée d'une grande quantité de trous destinés à distribuer l'air frais avec uniformité. Un tube conduit ensuite l'air du refrigérant au-dessous du fourneau de la machine à vapeur. L'eau qu'il s'agit de refroidir est refoulée par l'effet de la machine à la partie supérieure du refrigérant, elle descend par sa pesanteur au travers des surfaces, dans un réservoir inférieur; elle supporte ainsi une réduction de température, par suite d'une évaporation partielle de sa masse même, et devient ainsi apte à être utilisée pour la condensation. Le refrigérant doit être très rugueux, mais non pas trop poreux, de peur que l'eau qui a été introduite pour être refroidie, ne puisse s'accumuler en trop grande quantité. La superficie du refrigérant doit être, selon l'auteur, de 100 pouces carrés par puissance de cheval, en supposant qu'on puisse disposer d'une brise fraîche.

Dans les machines ordinaires, le robinet d'injection est constamment ouvert pendant qu'elles sont en marche. L'eau qui en résulte finirait par engorger le condenseur, si une

pompe spéciale (la pompe à air) n'avait pour but de l'enlever au fur et à mesure.

De plus, il s'amasse aussi de l'air dans le condenseur, et il convient de l'en expulser. L'eau ordinaire contient environ un vingtième d'air qui se dégage dans le condenseur par l'effet de la chaleur et de l'absence de pression qui existent dans cette capacité. La vapeur elle-même en contient aussi qui va s'ajouter à la première quantité.

On estime assez généralement que la puissance nécessaire pour faire mouvoir les pompes à air des machines de Wat, enlève $\frac{1}{12}$ ou $\frac{1}{15}$ de la puissance totale de la machine.

Des robinets ou une valve à tiroir sont ordinairement appliqués aux tubes d'injection des machines; ils sont disposés de façon qu'on puisse régler, c'est-à-dire augmenter ou diminuer à propos le volume de l'eau d'injection. En même tems un baromètre appliqué au condenseur accuse à chaque instant la pression de la vapeur qui a échappé à la condensation.

Ce baromètre n'a pas besoin d'avoir une longueur de 28 pouces, et ordinairement on ne leur en donne que la moitié; on conçoit qu'il

serait bien inutile qu'il fût à même d'indiquer les pressions correspondantes à la partie supérieure de l'échelle barométrique.

L'opération de la condensation par suite d'une injection d'eau au milieu de la vapeur donne lieu à quelques inconvéniens graves, qui depuis l'origine des machines à vapeur, ont excité la sagacité des mécaniciens. Parmi ces inconvéniens, nous citerons particulièrement celui d'où il résulte qu'on ne peut renvoyer à la chaudière la même eau de condensation. On est bien dans l'usage d'alimenter les chaudières avec une portion de l'eau d'injection mêlée à la vapeur condensée, afin de profiter du peu de chaleur qu'elle acquiert dans l'œuvre de la condensation. Mais la quantité, comme on l'a déjà vu, en est si petite, que le bénéfice qui en résulte est presqu'inappréciable. Il en est de même des sédimens qui, par suite d'une distillation continue, finissent par s'épaissir au fond des chaudières et s'y durcir de telle façon, que le travail du marteau et du ciseau à froid devient nécessaire pour les détacher des parois intérieures; plus tard, nous ferons mention des procédés imaginés pour contrarier l'accumulation des terres, des sels, etc.; mais ces moyens ne sont que

des palliatifs, qui ont le grave inconvénient de consommer une grande portion de la chaleur interne de la chaudière, et qui nécessitent encore des appareils auxiliaires, qui, bien que très simples, ne laissent pas que de multiplier les organes d'une machine déjà passablement compliquée et les chances d'avaries. La méthode, sans contredit, qui, avant que Hall n'ait apporté un changement complet de système dans l'opération de la condensation, approchait de plus près du but désiré, était celle de Mandslay, car ce dernier, en alimentant sa chaudière d'une manière assez graduée pour que l'alimentation soit continuelle, comme l'extraction qu'il produit au moyen de la pompe affectée à cette dernière fonction, profite en grande partie et d'une manière continue de la chaleur de l'eau d'extraction qui enveloppe son appareil alimentaire, tandis que par la méthode aujourd'hui employée presque généralement sur mer, on fait l'extraction à des époques plus ou moins rapprochées, en ouvrant simplement une issue de la base de la chaudière à l'extérieur du navire. L'eau saumûrée s'échappe ainsi en plus ou moins grande quantité, et on n'en profite pas pour échauffer l'eau alimentaire, ou du moins si on

le fait, cela n'a lieu que par saccades et non pas d'une manière aussi graduée, aussi lente, et par conséquent aussi efficace que par le procédé de Mandslay.

Tous les moyens qui ont été présentés jusqu'à présent par Wat, Cartwrigth, Freund, Évans, Brunnel, Clark, pour condenser la vapeur sans injection dans la masse, n'ont encore fourni aucun résultat satisfaisant, et ne sont pas en usage. Ils peuvent, à peu près, se résumer en celui-ci.

On faisait passer la vapeur dans un réfrigérant plongé dans l'eau froide, assez vaste et convenablement disposé dans sa capacité intérieure, pour mettre le plus de surfaces froides possible en contact avec la vapeur. Celle-ci, par suite de son contact avec les parois froides du réfrigérant, se condensait en se liquéfiant, et la température du réfrigérant était maintenue froide par un bain d'eau extérieur alimenté par la machine même.

Un défaut particulier à ce genre de condensation, consistait dans l'obligation où on se trouvait d'employer de vastes refrigérans en métal, à parois assez épaisses pour pouvoir résister à la pression atmosphérique résultant du vide qui s'opérait à l'intérieur par l'effet

de la condensation ; or cette épaisseur de métal était éminemment contraire à la prompte pénétration du calorique ou du froid, et par conséquent à une condensation rapide, telle qu'elle est nécessaire aux fonctions des machines à vapeur. Tandis que dans le procédé de Hall, les tubes réfrigérans ayant un très petit diamètre, peuvent être tenus très minces et être encore assez solides pour résister à la pression atmosphérique extérieure quand le vide s'opère dans l'intérieur de ces mêmes tubes. Tel est le principal mérite du système de condensation de Hall que nous allons exposer.

Hall admet d'abord qu'une surface métallique de 2800 pouces carrés est suffisante pour condenser 60000 pouces cubes de vapeur par minutes, quand la pression de cette même vapeur ne dépasse pas de quatre livres par pouces carrés la pression de l'atmosphère, cette quantité de 60000 pouces cubes étant celle qui correspond à la force d'un cheval.

L'auteur admet aussi que la quantité de tubes réfrigérans doit être de 50 par force de cheval, leur diamètre intérieur d'un demi pouce, leur longueur de trois pieds, enfin

que la quantité d'eau froide à injecter, doit être pour cette même unité de puissance, de 10 gallons (45,43 litres).

Fig. 44, A, est le cylindre à vapeur; B fig. 44, et 45 est le tube ordinaire qui conduit la vapeur au condenseur. C, fig. 44 et 45 (la fig. 45 reproduit sur une plus grande échelle le condenseur) est une section du condenseur ou réfrigérant. D, D, des mêmes figures est une citerne (au travers de laquelle s'établit le courant d'eau froide) contenant les surfaces métalliques en forme de tubes *a, a, a,* lesquels sont ouverts pour recevoir la vapeur arrivant du cylindre moteur. E, E et F sont deux chambres ou capacités, communiquant ensemble par les tubes *a, a, a,* adaptés aux deux plateaux *b, b,* auxquels ils sont fixés. *a, a,* fig. 46, représentent l'extrémité des tubes, et *b, b,* les portions de plateaux auxquels ils sont fixés. S, S, sont des viroles presse-étoupes. V, V, sont des petites capacités occupées par de l'étoupe ou du coton. Il est évident que la position verticale des tubes *a, a,* n'est pas indispensable, et que la position horizontale peut encore convenir. *y* est une surface métallique disposée dans la chambre E, E, percée d'une infinité de trous rapproch-

destinés à distribuer également la vapeur à chacun des tubes *a*, *a*. G est un tube qui établit une communication entre le fond de la capacité F et la pompe à air H, fig. 44. Cette pompe est semblable à la pompe à air et à eau dont on se sert communément dans les machines à vapeur ordinaires. I, I, sont deux tubes destinés à conduire le courant d'eau froide à la citerne D, D, avec laquelle ils sont en communication au moyen des tubes *c*, *c*; cette eau arrive de la pompe J, par le tube Z. K, K, sont deux tubes semblables à I, I, avec des embranchemens *d*, *d*, semblables à *c*, *c*, pour conduire l'eau en dehors de la citerne. Il faut observer, que la pompe ou tout autre appareil employé pour produire le courant d'eau froide au travers de la citerne, doit être adapté aux tubes K, K, et agir sur l'eau par exhaussion et non par pression. Les tubes I, I, peuvent aussi simplement prendre l'eau d'un réservoir, laquelle s'introduira dans le condenseur par la pression atmosphérique. L, M, fig. 44 et 45, est un tube carré qui traverse la capacité E, E; ce même tube est traversé par une série d'autres petits tubes, tels que *e*, *e*, de la [illegible] manière que la citerne l'est par

les tubes *a*, *a*, *a*. Voici maintenant comment cet appareil fonctionne.

Quand la machine est en action, la vapeur partant de la chaudière arrive au cylindre moteur, et après dans la chambre E, E, par le tube B. Passant ensuite au travers des tubes *a*, *a*, *a*, de la citerne, l'eau qui résulte de la condensation tombe et s'écoule dans la chambre basse, F et se rend à la pompe, H, par le tube G; le vide se produit dans les deux chambres aussi bien que dans les tubes *a*, *a*, *a*; l'eau de condensation se rend ensuite dans le tube carré, L, M, en se mettant en contact avec les petits tubes *e*, *e*, qui le traversent; elle s'échauffe ainsi avant de repasser à la chaudière par les tubes N et O.

Voici maintenant les moyens qu'emploie l'auteur pour distiller la portion d'eau nécessaire pour réparer les pertes résultantes et inséparables du travail de la machine, ainsi que pour profiter de la vapeur qui s'échappe par les soupapes de sûreté.

P, fig. 44, est ce qu'il appelle le vaisseau distillateur; il est en partie plongé dans la chaudière, et est en communication avec l'eau froide de la citerne par le tube alimentaire Q. A son orifice supérieur, est adaptée une

valve *k*, fixée par une tige à l'extrémité d'un levier *l*, tandis que l'autre extrémité du levier est attachée au moyen d'un fil métallique, au flotteur *m*; ce flotteur règle l'introduction de l'eau, et lui conserve la hauteur voulue dans le vaisseau distillateur. R, R, est un tube destiné à conduire la vapeur qui sort du vaisseau distillateur à la chambre supérieure du condenseur; le même vide qui existe dans cette dernière capacité, se produit également dans le vaisseau distillateur, et il en résulte que l'eau soumise à une température de 212 degrés Fahrenheit (100° cent.), l'est encore au vide en question, ce qui augmente encore la rapidité de son évaporation. Pour régler ensuite l'introduction de l'eau alimentaire distillée, de manière à conserver le niveau de la chaudière à sa hauteur habituelle, un levier *o*, *o*, est attaché à un flotteur, *n*, au moyen d'un fil métallique qui traverse sa paroi en passant dans une boîte à étoupes. Le levier *o*, *o*, est fixé par son autre extrémité à un bras *p*, lequel fonctionne dans l'intérieur du vaisseau distillateur, et est attaché à une valve *q*, adaptée à l'orifice du tube RR. Par suite d'une pareille disposition, quand [illegible] de l'eau dans la chaudière est trop

bas, le flotteur *n*, s'abaisse, et il en résulte l'ouverture de la valve *q*; dès-lors l'évaporation se produit jusqu'à ce que l'eau qui en résulte, renvoyée à la chaudière par la pompe à air, reproduit le niveau à sa hauteur habituelle, et fait ainsi remonter le flotteur. Quand ce dernier, par son élévation, ferme la valve, l'évaporation ou la distillation est suspendue. Il est évident que la vapeur du vaiseau distillateur sera condensée par son passage au travers de la citerne, et que l'eau distillée qui en résultera, s'ajoutera à celle produite par les fonctions de la machine, et que toutes deux passeront à la chaudière pour l'alimenter. Il est superflu de dire que les valves, qui règlent d'elles-mêmes l'entrée de l'eau et la sortie de la vapeur du vase distillateur, peuvent être remplacées par des valves ou des robinets à main.

Nous allons maintenant décrire l'espèce nouvelle de soupapes de sûreté que M. Samuel Hall emploie pour ne pas perdre la vapeur qui s'échappe par elles.

a, a, fig. 47, est un cylindre placé concentriquement à l'égard d'un autre *b, b*. Tous les deux sont liés par leurs fonds, de manière à former un espace annulaire entr'eux:

Cet espace est destiné à contenir du mercure. Un troisième cylindre renversé *c, c*, plonge sa partie débouchée dans l'espace annulaire, et est maintenu dans sa position au moyen d'un levier supérieur *d, d*, suspendu par des tringles, (l'une d'elles est indiquée par des lignes ponctuées, *e*). Les cylindres *a, a*, et *b, b*, sont assujettis sur un autre cylindre *f, f*, ou tubulure qui est bouchée à sa base, mais qui communique cependant avec la chaudière. *h, i*, est un tube ouvert par les deux bouts, et joint par un d'eux au cylindre *f, f*; l'extrémité s'étend, comme on voit, dans l'intérieur de *f, f*. *l, l*, est une valve plate, destinée à glisser contre l'orifice *i*, au moyen d'un guide *m*, fixé en *i*; *n*, est une petite ouverture pratiquée au centre de la valve *l, l*, qui est fermée par une autre valve *o*, destinée à glisser dans le châssis *z, z*, fixé sur le derrière de la valve *l, l*; *p*, est une tige attachée à la valve *o*; et *q*, est une seconde tringle fixée à la valve *l, l*. Ces deux tringles sont guidées dans leur jeu, en passant dans des ouvertures de même calibre pratiquées dans la traverse *r, r*, qui est fixée [illegible]met intérieur du tube renversé *c, c*; et [illegible] d'elles est munie en dessus de la tra-

verse *r*, *r*, d'un écrou. L'ouverture *h*, du tube *h*, *i*, est liée à un autre tube qui sert à établir la communication avec la chambre supérieure du condenseur ; c'est le tube S, fig. 44. Quand la pression de la vapeur n'excède pas l'habituelle, les valves conservent la position indiquée dans les fig. 44 et 47, et le cylindre renversé appuyé par le levier supérieur, reste en place; mais quand cette pression dépasse sa limite habituelle, au point de soulever le levier *d*, *d*, le cylindre renversé se soulève par la même raison, la valve *o* suit le même mouvement, débouche l'ouverture *n*, et la vapeur excédante passe au condenseur. A cause du chemin perdu, existant entre la traverse *r*, *r*, et l'écrou de la tringle *q*, la valve *l*, *l*, ne se soulève pas encore; mais si la pression de la vapeur continue à s'accroître, cette dernière valve est soulevée, et débouche une large ouverture au passage de la vapeur. Quand cette dernière a repris sa tension ordinaire, le cylindre renversé retombe à sa place, ainsi que les valves *l*, *l*, et *o*; par ce moyen la vapeur qui s'échappe de la soupape de sûreté est utilisée; au lieu d'être expulsée dans l'atmo-

sphère, elle retourne à l'état d'eau distillée dans la chaudière.

Avant que Hall produisît son système de condensation, on en avait déjà essayé en France de semblables. On avait même éprouvé que la condensation était plus prompte quand les courans de vapeur intérieurs et les courans d'eau froide extérieurs étaient opposés dans leurs directions. On s'est aussi convaincu dans ces derniers tems, que l'eau aerée était beaucoup plus apte à refroidir les tubes refrigérans, et cela s'explique facilement par l'énergie évaporatoire de l'eau en pareille condition de mélange; il résulterait de cette dernière expérience que l'intérieur des tambours ou de la charpente demi-cylindrique, qu'on adapte ordinairement sur les roues à aubes des bateaux à vapeur, afin de se préserver des éclaboussures d'eau qu'elles soulèvent incessamment, serait une place très favorable pour l'installation d'un système de condensation à sec. Telle est du moins l'idée de M. Séguier, déjà si connu par ses essais persévérans et multipliés, et ses ingénieuses découvertes dans les machines à vapeur appliquées aux arts, à l'industrie et à la naviga-

CHAPITRE IV.

DE LA COMBUSTION.

L'œuvre de la combustion a été pendant long-tems regardée comme le résultat du dégagement d'un certain principe particulier et subtil auquel les physiciens donnaient le nom de phlogistique, et que tous les corps étaient supposés contenir en plus ou moins grande quantité. Cette hypothèse, cependant, ne pouvait pas s'accorder avec une série de faits qui tendaient à prouver, qu'au lieu de se séparer d'un principe quelconque, plusieurs corps augmentaient en poids par suite de leur combustion. Les métaux, en particulier, dans leur oxidation, présentaient un obstacle presqu'insurmontable à l'adoption de ce système, quand les découvertes de Schèele, de Cavendish et Priestley, sur la constitution de l'air atmosphérique, de Black sur la chaleur latente, vinrent fournir au célèbre Lavoisier, les fondemens de son ingénieuse et admirable théorie de la combustion.

Selon Lavoisier, la lumière et la chaleur

proviennent de l'oxigène de l'air, dans l'instant de sa combinaison avec les corps combustibles. Et depuis, les chimistes de son école, en agrandissant cette idée, ont rangé tous les corps en deux grandes séries, comprenant les corps combustibles et les corps comburans, ou soutiens de la combustion. Cependant quoique cette théorie s'accorde avec la plupart des phénomènes de la combustion que nous observons journellement, il en est quelques-uns pour lesquels elle devient insuffisante. Elle n'explique pas, par exemple, à quoi tient le dégagement de calorique et de lumière, qui accompagne la combinaison de l'oxigène avec un comburant, et pourquoi dans quelques cas, cette combinaison peut avoir lieu sans qu'il y ait émission de ces deux principes. Ainsi l'oxigène s'unit à l'azote, au chlore et au mercure, sans qu'il y ait dégagement de calorique.

La distinction des corps en combustibles et comburans, peut également paraître imaginaire, car quelques-uns d'entre eux jouissent des deux facultés; ainsi l'hydrogène sulfuré uni à l'oxigène, est un combustible; le chlore [illegible]tassium est un comburant; et le [illegible]e et à l'oxigène agit

comme combustible, tandis qu'avec un métal, il devient comburant. Nous ne pouvons attribuer ces phénomènes à l'expulsion de la chaleur latente en conséquence de la condensation : car le protoxide de chlore, substance dénuée de tout principe combustible, à l'instant de sa décomposition, émet de la lumière et de la chaleur avec une violence explosive, et cependant son volume augmente d'un cinquième; de la même manière les chlorates et les nitrates traités par le charbon, le soufre, ou un métal, détonnent avec déflagration, et cependant le volume de ces substances combinées est beaucoup agrandi; on ne peut pas non plus attribuer la production de chaleur émise pendant la combustion, à la diminution de chaleur spécifique de la part des combinaisons résultantes, car dans plusieurs cas, il n'y a nullement lieu à diminution. Par exemple, la combinaison d'oxigène et d'hydrogène ou celle de soufre et de plomb ne produit pas une plus grande altération dans les chaleurs spécifiques de l'eau ou du sulfure de plomb, que la combinaison de l'oxigène avec le cuivre, le plomb ou l'argent, ou que celle du soufre avec le carbone n'en produisent dans les oxides, les carbures et les

sulfures qui en résultent. Ce qui précède, et beaucoup d'autres faits semblables, prouvent que l'oxigène n'est pas l'agent indispensable de la combustion ; que l'émission de la chaleur ne peut être attribuée simplement au départ du gaz et de la chaleur latente ; que des effets semblables peuvent être produits par l'action chimique et réciproque des substances entr'elles, peut-être aussi par leur relation électrique, par la grande mobilité imprimée aux particules de la matière. Tel est du moins le résultat des recherches savantes de sir H. Davy.

Les matières combustibles qu'on emploie le plus ordinairement pour produire la vapeur nécessaire au mouvement des machines, sont la houille, le bois et le coke. Quelle que soit la consommation énorme qui se fasse de la première de ces substances, depuis que les machines à vapeur ont été appliquées à la navigation, et à presque toutes les industries, il paraît que la quantité qui s'en trouve dans le sein de la terre est tellement considérable, qu'on ne peut encore prévoir à quelle époque les mines de houille pourront être épuisées. Plusieurs d'entr'elles, d'une qualité [illegible] inférieure ne sont pas encore

exploitées, mais trouveront plus tard leur emploi. Les Anglais ont calculé que les mines du pays de *Northumberland* et *Durham*, étaient encore capables de fournir du charbon pendant 1700 années, et on n'en retire pas moins de 16 millions de tonneaux (environ 16,000,000,000 de kilogrammes) par année; et quand ces mines seront épuisées, le pays de Galles du sud, sera à même d'en produire encore pendant 2000 années.

Mais ce n'est pas autant le prix du combustible, que le volume qu'il occupe à bord des bateaux à vapeur, qui doit exciter les méditations des mécaniciens sur le meilleur parti à en tirer. En effet le service de la navigation par la vapeur, a été jusqu'à présent limité à une navigation presque de cabotage, et la plupart des essais faits pour l'appliquer aux navigations de long cours, ont échoué par suite de l'exiguité des provisions de combustibles. Il est encore un moyen pour arriver à de pareils résultats, et qui doit mériter de fixer l'attention des navigateurs : c'est de ne fixer l'emploi de la puissance de la vapeur qu'à l'état d'exception, de vent contraire ou de calme, et non pas d'en faire une consommation normale, même lors des vents favorables. Un

procédé mécanique qui sous ce point de vue, atteindrait à ces conditions, doublerait immédiatement les approvisionnemens, et réduirait de moitié les dépenses de combustibles, et l'usure des appareils évaporatoires. Il n'est pas de navigateur qui ne sache que les vents sont susceptibles d'aider à la route du vaisseau pendant au moins les cinq huitièmes des traversées, et il est par trop singulier d'être obligé de faire tourner constamment des roues à aubes, et même avec une grande vélocité, quand une force supérieure à celle de la vapeur pourrait si souvent imprimer aux navires un sillage plus considérable.

D'après les expériences les plus récentes, il paraîtrait qu'un kilogramme de houille de bonne qualité, peut élever à la température d'un degré centigrade, la quantité moyenne d'eau de 4212 k., ou réduire en vapeur à basse pression de 105° cent. une quantité de 6 k., 5 d'eau prise à 10°. M. Clément a trouvé des résultats bien supérieurs, puisqu'il est parvenu à vaporiser 10 k., 8 d'eau prise à zéro avec un kilogramme de houille ou de coke de bonne qualité.

[illegible] pin sec, d'après Rumford peut [illegible] centigrade une quantité de

2010 kilogrammes d'eau, ou convertir en vapeur à basse pression (105°) environ 3 k., 1 d'eau prise à 10°. Pour le bois de chêne sec, le même expérimentateur a trouvé 3150 k., et 4 k., 85.

Les houilles ou charbons de pierre, dans leurs qualités, varient à l'infini. Il en est qui après leur combustion ne donnent que sept pour cent de cendres ou résidus et le charbon menu ne produit que les $\frac{1}{4}$ de l'effet de bonne houille en roche et de même qualité. Malgré les expériences de Rumford sur le chêne, il paraîtrait probable que toutes les espèces de bois sec peuvent, sous le même poids, donner la même intensité de chaleur; d'après cela, à volume égal, l'effet produit varierait comme leur poids spécifique.

Quand on a en vue la construction d'une machine à vapeur, on connaît la quantité et l'espèce de vapeur qu'elle doit produire, et c'est ordinairement sur cette base que toutes les parties de la machine sont mesurées dans leurs dimensions. L'étendue des grilles, le diamètre de la cheminée et la surface de chauffe, sont d'une haute importance pour la quantité de vapeur dont il sera nécessaire de pouvoir disposer, et il est bien reconnu au-

jourd'hui qu'il est infiniment avantageux d'agir avec de grandes surfaces de chauffe.

Quoique les relations entre les petites machines à vapeur et les grandes, ne soient pas tout-à-fait les mêmes pour la consommation en combustible, l'étendue des surfaces chauffées, l'aire des grilles, etc, on est cependant convenu de rapporter toutes ces quantités à l'unité de force généralement adoptée qu'on appelle puissance de cheval.

Ainsi par exemple, la quantité d'eau consommée par puissance de cheval est d'environ 30 litres par heure ; des expériences multipliées ont prouvé qu'un mètre carré de surface chauffée est suffisant pour la vaporiser avec excès. Mais cette surface de 1 mètre carré est trop grande pour les grandes machines ; or, comme il est extrêmement facile de modérer les feux quand la production de vapeur est trop grande, tandis qu'il est à peu près impossible de pourvoir à l'insuffisance d'une petite chaudière, nous recommandons de donner cette étendue à la surface exposée directement au feu. D'après Tredgold, on ne devrait donner au plus pour une machine à haute pression que 0, 95^{m} par p[illegible] cheval; mais nous avons éprouvé

plusieurs fois dans de petites machines, que cette étendue était insuffisante quand on ne s'aidait pas d'un ventilateur mécanique pour augmenter l'activité du feu, ou que la vapeur même expulsée de la machine n'était point renvoyée à la base de la cheminée pour élever la température des gaz, ou de l'air échauffé provenant de la combustion, et favoriser ainsi le tirage. Généralement les chaudières qui produisent avec abondance de la vapeur, sont plus économiques que celles qui ne fournissent que tout juste la quantité nécessaire aux fonctions de la machine. Il est extrêmement facile de modérer un feu trop actif, tandis qu'on échauffe en vain, et souvent aux dépens d'une très grande masse de combustible une chaudière qui n'a que tout juste les dimensions nécessaires, et dont les qualités, par suite d'un service un peu continu, peuvent diminuer. Cette diminution est ordinairement le résultat des cendres entraînées par le tirage des particules de scories ou de la fumée qui se déposent dans les carneaux ou conduits, et qui sont toutes éminemment réfractaires ou très peu conductrices de la chaleur.

Les quantités de vapeur que peuvent pro-

duire les appareils évaporatoires, dépendent aussi beaucoup de leurs formes : les surfaces de fonds supérieurs des fourneaux sont celles qui en produisent le plus, et les formes plates sont les plus avantageuses, surtout quand elles sont un peu concaves. Les chaudières de formes cylindriques produisent un peu moins de vapeur.

L'épaisseur du métal contribue encore beaucoup à modifier les qualités évaporatoires des appareils, et les chaudières en fonte de fer, par suite de leur épaisseur, sont désavantageuses sous ce point de vue; outre qu'elles ont le défaut de se brûler ou de se gercer dans celles de leurs parties qui sont exposées directement au contact du feu.

La quantité d'air nécessaire à la combustion de 5 à 6 kilogrammes de houille, qui représentent à peu de chose près la consommation relative à la force d'un cheval, a été calculée devoir être, d'après Tredgold, de 54 à 60 mètres cubes par heure. Pour le coke, ce serait 60 mètres cubes, et pour le bois, 120.

L'étendue de la surface des grilles doit être aussi proportionnée à la quantité d'air nécessaire pour alimenter la combustion, et on



adopte généralement un décimètre carré de surface par puissanee de cheval, en ayant soin de donner un peu plus de profondeur que de largeur à la surface entière de la grille, et d'augmenter cette surface si le combustible employé est du bois.

La hauteur, et principalement le diamètre des cheminées sont d'une grande importance pour obtenir une combustion complète, vive et efficace, et les expériences de M. Darcet ont démontré jusqu'à l'évidence, combien la surface de section où le diamètre des cheminées influait davantage sur le tirage, que la hauteur exagérée qu'on a été jusqu'à présent dans l'habitude de donner aux cheminées. Une surface de section de cheminée de deux décimètres carrés par puissance de cheval, paraît satisfaire à toutes les conditions d'une combustion efficace. Il est facile de se rendre raison de la manière dont s'opère le tirage dans les cheminées.

Quand un fourneau est privé de cheminée, il n'existe pas plus de raison pour que l'air nécessaire à la combustion se fasse issue par le cendrier plutôt que par la partie postérieure du fourneau où prend naissance la cheminée. Mais dès que cette partie est surmontée d'un

tube quelconque, de manière à dépasser le niveau de l'âtre, l'air dilaté dans la cheminée devient plus léger que celui qui se précipite sous la pression de l'atmosphère par le cendrier ; l'équilibre est rompu, et un courant d'air plus ou moins violent se prononce de l'âtre à la cheminée. On peut très-bien comparer cet effet à celui que présentent les siphons dans leurs fonctions. Quand les deux tubes d'un siphon sont d'égale longueur, l'eau ne s'écoule pas, il y a équilibre de part et d'autre ; mais dès que la branche d'écoulement est alongée d'une très petite quantité, l'écoulement se prononce aussitôt, et il est proportionné au calibre du tube. Peu importe après cela, que la longueur de la branche d'écoulement soit plus grande, dès qu'elle a dépassé la longueur de l'autre branche cela suffit; la vitesse de l'écoulement varie infiniment peu par suite d'un alongement plus grand. Ce serait encore en vain qu'on augmenterait en dimension le tube extérieur en lui donnant, par exemple, la forme d'un entonnoir, l'écoulement serait toujours proportionné au plus petit calibre du siphon, et [illegible]let d'eau s'écoulerait au travers de la [illegible] suspendue sans augmenter en quantité.

Il est évident que pour augmenter le volume de l'eau écoulée, il suffit d'augmenter les dimensions du siphon, non pas dans la longueur de la branche d'écoulement, mais dans la largeur de section, et de telle sorte qu'il n'y ait aucun étranglement dans le canal intérieur.

L'air non comprimé agissant sous la pression de l'atmosphère, obéit à une même loi. Et ce que nous venons de dire démontre pourquoi le plus petit tuyau placé sur un fourneau, peut déterminer instantanément le tirage, et pourquoi M. Péclet, dans ses expériences, a trouvé qu'en triplant la hauteur des cheminées, la vitesse du tirage dans quelques cas, n'était pas augmentée de $\frac{1}{10}$: tandis qu'elle devenait sensiblement plus grande en augmentant la surface de section des cheminées, et surtout en donnant à la fumée une plus haute température, ce qui dérangeait évidemment davantage l'équilibre.

CHAPITRE V.

DES CHAUDIÈRES.

Quatre qualités principales constituent les bonnes chaudières des machines à vapeur. La première consiste dans leur solidité obligée pour résister à la pression de la vapeur. La seconde, en ce qu'elles soient capables de produire une quantité suffisante de vapeur. La troisième, en ce qu'elles soient construites d'une manière durable sans cependant dépasser les prix raisonnables. Enfin, la quatrième consiste en ce qu'elles puissent se servir avec commodité et qu'elles n'exigent pas trop de bras pour ce même service. Une chaudière à vapeur qui réunit ces quatre conditions peut être considérée comme parfaite.

Les matières qui ont été jusqu'à présent employées à la construction des chaudières, sont le fer et le cuivre. Quelques-unes cependant ont été fabriquées en bois et en pierre. Celles de bois contenaient nécessairement leur fourneau dans leur capacité intérieure, et [illegible]urneau plongeait entièrement dans [illegible] comme le bois est un des mauvais

conducteurs de la chaleur, il en résultait peu de perte par suite du rayonnement, et de l'économie dans la consommation du combustible. Leur prix comparé à celui des chaudières en métal était également moindre; elles furent essayées en Amérique par le chancelier de Livingston et M. Anderson.

Les chaudières en pierre furent essayées par M. Brindley, qui en 1756 exécuta une machine à vapeur à Newcasle-sur-Tyne avec une chaudière de cette espèce. Elle était fabriquée avec des briques et des pierres fortement cimentées ensemble, et l'eau était chauffée au moyen de tuyaux en fer compris dans l'intérieur de l'appareil.

La matière dont une chaudière est fabriquée est d'une haute importance sous le rapport de l'économie du combustible. Tous les métaux et matières ne conduisent pas également bien la chaleur. M. Despretz, qui a fait des expériences très exactes sur le pouvoir conducteur de différentes substances, a obtenu les résultats suivans :

Or	1000
Argent	973, 0
Platine	981, 0
Cuivre	898, 2

Fer	374, 3
Zinc	363, 0
Étain.	303, 9
Plomb	179, 6
Marbre.	23, 6
Porcelaine . . .	12, 2
Briques.	11, 4

Le pouvoir conducteur du cuivre étant plus que le double de celui du fer, ce métal offre beaucoup d'avantages pour la construction des chaudières des machines à vapeur.

Mais il y a d'autres considérations qui doivent entrer en première ligne avant de se déterminer à donner la préférence à un de ces deux métaux, c'est la force de cohésion relativement au prix. Il résulte de quelques expériences, que la force cohésive du cuivre a été quelquefois trouvée plus grande; mais il faut croire que le fer qui servait de comparaison était d'une très mauvaise qualité : car généralement on a éprouvé que le fer possédait relativement au cuivre une force de cohésion éminemment supérieure. Malgré cela, à cause de la grande uniformité de texture du cuivre laminé, relativement à celle du fer en tôle, les constructeurs donnent la préférence au premier de ces deux métaux pour la fa-

brication des chaudières, bien qu'il ait à soutenir la même pression de la part de la vapeur (1). L'expérience a, je crois, établi comme positif que dans les cas d'explosions le cuivre se déchire, tandis que le fer se projette en éclats. Le prix du cuivre est quatre fois plus élevé que celui du fer, mais si l'on considère que le pouvoir conducteur du fer est moitié de celui du cuivre, il en résulte qu'on peut diminuer de beaucoup les surfaces de chauffe quand les chaudières sont fabriquées avec ce métal. Cette circonstance permet de réduire beaucoup le poids des chaudières en cuivre ainsi que les premiers frais d'achats. La réduction dans les capacités permettra également de diminuer l'épaisseur du métal sans altérer la solidité nécessaire de l'appareil; et quoique le prix du cuivre soit beaucoup plus élevé que celui du fer, il y aura lieu à compensation relativement à la capacité entière de la chaudière réduite à de plus petites dimensions. Quand une chau-

(1) On remarque, au désavantage du cuivre, que les parties exposées directement au contact du combustible et particulièrement de la houille, se sulfurent assez promptement et deviennent aigres et faciles à se gercer.

dière en fer est usée, la valeur du métal paie à peine les frais de son déplacement, tandis que celle en cuivre dans les mêmes circonstances possède encore les trois quarts de sa valeur primitive. Toutes ces considérations nous portent à penser qu'après plusieurs années, l'usage des chaudières en cuivre est plus économique que celui des chaudières en fer.

Dans la construction des chaudières de formes ordinaires, les surfaces de chauffe du fond doivent être d'une étendue suffisante pour absorber une quantité de chaleur capable de produire une somme de vapeur requise. Les surfaces latérales du foyer et des carneaux produisent peu de vapeur. La fumée, avant d'arriver à la cheminée, doit être autant que possible dépouillée de sa chaleur dans les carneaux. Il est bien établi aujourd'hui qu'il y a perte à produire de la vapeur en agissant avec une température élevée sur de petites surfaces, et qu'au contraire il est économique de n'employer qu'une chaleur modérée et de grandes surfaces de chauffe. Watt a reconnu qu'un pied cube d'eau ré-d[illegible]eur par heure, correspond à la [illegible]val, et que cette quantité de

vapeur peut être obtenue dans le même tems avec un fourneau bien construit, sur une surface de chauffe, contenant 8 pieds carrés. En pratique, on donne ordinairement à la surface de chauffe de fond, 4 ou 5 pieds carrés par puissance de cheval, et autant à celles de côté.

Il est essentiel que la chaudière contienne 4 ou 5 fois plus d'eau qu'il n'en faut pour produire la quantité de vapeur nécessaire au travail de la machine, et une quantité de vapeur telle, que son élasticité ne soit pas considérablement diminuée à chaque coup de piston. Pour cet objet, la capacité de la chaudière comprise entre son dôme et le niveau de l'eau, contient ordinairement une quantité de vapeur égale à 8 ou dix fois le volume du cylindre moteur. (1)

(1) Cette précaution de laisser à la vapeur un espace suffisamment grand, ne doit point être négligée, non-seulement pour les causes spécifiées ci-dessus, mais encore pour une autre non moins essentielle. Quand le niveau d'eau est trop rapproché de la prise de vapeur, ou que l'espace réservé à la vapeur est trop petit, il arrive que l'eau passe, avec la vapeur, dans les cylindres, et que les pistons ne peuvent plus fournir leur course. Il en résulte des chocs auxquels les soupapes adaptées aux bas des cylindres ne pourvoient

stamment couvert d'eau. La flamme et la fumée du fourneau *d*, passent d'abord au-dessous de la chaudière, ensuite dans le conduit *b*, elles arrivent alors sur le devant de l'appareil. Là elles se divisent et passent à droite et à gauche de la chaudière le long des surfaces latérales, dans deux conduits construits avec des briques (on voit la section d'un de ces conduits en *e*, *e*,), pour enfin se réunir à la cheminée *f*, *f*.

La chaudière s'alimente d'eau, par le moyen du tube *g*, lequel est fait pour contenir une colonne d'eau proportionnée à la pression de la vapeur dans la chaudière. L'extrémité supérieure de ce tube est munie d'une cuvette *h*. *i* est un flotteur fait en pierre, suspendu par un fil de métal qui traverse une boîte à étoupe *j*; ce fil est attaché à l'extrémité d'un levier dont la charnière est en *k*; tandis qu'à son autre extrémité est suspendu un poids *l*, destiné à contre-balancer celui de la pierre. Par cette disposition, quand le niveau d'eau baisse dans la chaudière au-dessous de sa hauteur habituelle, le flotteur descend aussi, la soupape [illegible]hée au levier se soulève, et permet à [illegible]e la cuvette de tomber dans le tube *g*. [illegible] fonction[illegible] [illegible] tube *g*, ne se bornent pas

à servir à l'alimentation de la chaudière, il contient aussi un flotteur en tôle, lequel est suspendu à une chaîne. Cette chaîne passe sur deux poulies de retour, et va se fixer à un registre de fer *p*, destiné à obstruer plus ou moins le tuyau de cheminée et arrêter ainsi le tirage du fourneau. Par suite de cette installation, quand la pression de la vapeur est trop forte dans la chaudière, le flotteur de tôle monte dans le tube *g*, en obéissant à l'ascension de l'eau; le registre de la cheminée *p* baisse, et l'activité du feu diminue comme le tirage. *q* et *r* sont deux petits robinets jauges, qui servent aussi à reconnaître l'état du niveau d'eau dans la chaudière. Quand le robinet *q* accuse de l'eau, et le robinet *r* de la vapeur, ce qui est facile à reconnaître, en tournant leurs clés, le niveau est à sa hauteur voulue. Tandis que, si le robinet *q* fournit de la vapeur, le niveau est trop bas, et si le niveau *r* donne de l'eau, il est trop haut. La circonstance d'un niveau trop bas peut prendre place parmi les défauts dont l'appareil précédemment décrit est frappé. C'est un désordre sérieux auquel il importe d'appliquer immédiatement le remède, et, selon nous, il convient aussitôt d'éteindre le feu, d'obstruer

le passage de l'air à la grille, et après, on cherchera la cause de la perturbation pour y remédier sur le champ.

Pour connaître à chaque instant la pression qui existe dans les chaudières, on emploie un instrument appelé jauge à vapeur (manomètre à mercure): c'est un tube de fer à syphon, placé en avant de la chaudière, et communiquant d'une part, avec la partie de cette capacité, occupée par la vapeur, et d'autre part, avec la pression de l'atmosphère. Ce tube est en partie rempli de mercure qui supporte un petit flotteur en bois muni d'une tige qui sert d'indicateur; derrière l'indicateur, on place une échelle divisée en pouces et demi-pouces. L'élévation de cet indicateur accuse à chaque instant la pression de la vapeur dans la chaudière, qui est la même que celle qui agit sur le mercure du syphon. Quand la pression oblige le mercure à monter d'un pouce, la pression qui tend à faire rompre la chaudière, est d'une demi-livre par pouces carrés de la surface interne de la chaudière. En général, chaque deux pouces de dénivellation de la part du mercure, correspond à une livre de pression sur un pouce carré de surface interne [illegible]audière. Ordinairement les échelles

ne dépassent pas 8 ou 10 pouces dans les machines à vapeur à condensation, parce qu'on n'y dépasse pas non plus la pression correspondante à cette hauteur de mercure.

Pour prévoir à une plus grande pression que celle que la chaudière est destinée à supporter, on lui applique une soupape de sûreté *u*. C'est ordinairement une pièce circulaire de métal, taillée coniquement pour s'appliquer sur un siége également conique, qui correspond à une ouverture pratiquée à la chaudière. Cette pièce de métal appuie sur son siége, au moyen d'un levier et d'un poids, et est destinée à se soulever, et à donner ainsi un épanchement libre à la vapeur de la chaudière quand elle est trop tendue. Dans les grandes machines, et particulièrement à bord des bâtimens à vapeur, on adapte aux chaudières une seconde soupape de sûreté, enfermée à clé dans une boîte ou cage grillée, de telle façon, que la malveillance ne puisse, en aucune manière, surcharger le poids qui la maintient à sa place. Beaucoup d'accidens ont eu lieu par suite d'une négligence à cet égard.

La vapeur qui s'échappe des soupapes de sûreté est ordinairement dirigée dans la cheminée; un tube à vapeur est empl é pour la

conduire à cette destination. *v*, *v* est le tube qui conduit la vapeur à la machine; une soupape à main *w*, sert à en régler la quantité; une autre, *x*, a le même office. Afin de pouvoir examiner et nettoyer l'intérieur des chaudières, on ménage à leur dôme une ouverture *y*, appelée trou d'homme. Cette ouverture est bouchée, au moyen d'un plateau en fer qui s'y fixe au moyen de boulons et d'écrous, et ordinairement c'est sur cette plaque qu'on adapte la soupape *z*, dite atmosphérique. Cette soupape est destinée à s'enfoncer et à donner issue à l'air extérieur dans l'intérieur de la ~~chaudière, quand~~, par suite du refroidissement de l'appareil, toute la vapeur s'est condensée: on pourvoit ainsi aux écrasemens qui pourraient être la suite de la pression extérieure de l'atmosphère sur l'enveloppe extérieure de l'appareil évaporatoire. Les chaudières sont aussi munies à leurs parties basses d'un tube qui sert à l'expulsion de l'eau qu'elles contiennent.

Les chaudières de formes cylindriques et longues, ont été spécialement consacrées à l'usage de la vapeur à haute pression, à cause de leur solidité particulière; elles sont plus [illegible] le nom de chaudières de Fré-

vithik, bien qu'il n'en soit pas l'inventeur. Nous observerons, en effet que, quoique l'Américain Oliver Évans en donne une description dans sa machine à haute pression, il ne réclame pas la priorité de l'invention, et nous supposons dès-lors qu'elle était employée avant lui.

Les chaudières cylindriques sont fréquemment d'une grande longueur : elles ont ordinairement en longueur dix, douze fois et plus leur diamètre : ces dimensions sont avantageuses pour leur solidité. En Angleterre, leurs extrémités sont demi-sphériques; mais en Amérique, on les termine par des plaques de fer solide et d'une construction beaucoup plus facile. Ces chaudières sont ordinairement pourvues d'un tube interne que parcourt la flamme avant d'avoir passé sur les parois latérales.

La fig. 3 représente une section d'une petite chaudière de cette espèce, construite par M. Saunders, dernièrement à Sheffield, maintenant à New-York. La porte du fourneau est en *a*; *b* est le fourneau; *c* le cendrier; *d*, la chaudière; *e*, le flotteur qui règle l'alimentation avec le secours du contre-poids *g*. *f* est le carneau intérieur de la chaudière par où

passe la flamme ou l'air échauffé. *h* est le tube de vapeur qui la conduit à la machine.

Pour calculer l'épaisseur du métal dont on doit fabriquer une chaudière, voici la règle ordinairement suivie par les constructeurs anglais, et qui est indiquée dans le Traité des machines à vapeur de M. Tredgold.

Les ingénieurs anglais admettent qu'il est nécessaire de donner au métal une épaisseur telle, qu'il puisse résister à un effort trois fois aussi grand que celui qui tend à soulever la soupape de sûreté.

M. Tredgold pose en outre, comme principe, que la résistance doit aussi être en proportion de la quantité d'eau contenue dans les chaudières, ainsi, par exemple, que si une chaudière ne contient par force de cheval que la moitié de la quantité d'eau habituelle, elle doit avoir une résistance double. Ceci est fondé sur ce que l'effet de l'excès de chaleur pour augmenter la température, ainsi que la force de la vapeur, est en raison inverse de la quantité d'eau sur laquelle l'action est pro- [illegible] conséquent, le danger causé par [illegible] de tension est en raison

inverse de la quantité d'eau et de vapeur que contient la chaudière.

Pour trouver l'épaisseur de la tôle qui doit recouvrir une chaudière rectangulaire ou cylindrique, multipliez le triple de la charge sur la soupape de sûreté, en kilogrammes par centimètres circulaires, par la plus grande diagonale en centimètres de la section de la chaudière, et divisez ce produit par la capacité de la chaudière afférente à un cheval. Le résultat donnera l'épaisseur en centimètres. Pour le cuivre, il faut prendre le quintuple au lieu du triple. La tôle aux fonds des chaudières doit avoir une épaisseur suffisante pour compenser l'usure; en général, cette épaisseur doit être une fois et demie celle du dessus de la chaudière.

Dans une chaudière rectangulaire, la plus grande diagonale étant de $2^{m},4$, et par conséquent, équivalant à un rayon de courbure de 240 centimètres, le poids sur la soupape de sûreté de $0,^{m}25$ par centimètres circulaires, et l'espace pour l'eau de 450 décimètres cubes, on aura $\frac{3 + 0{,}25 + 240}{450}$ $0{,}4^{\text{cent.}}$ pour l'épaisseur à donner à la tôle. Les plaques de fonds auront 0,6 (Tredgold).

On emploie ordinairement trois espèces d

métaux pour la construction des chaudières, ce sont le fer, le cuivre et la fonte de fer : la tenacité du fer malléé est environ deux fois aussi grande que celle du cuivre, et à peu près trois fois aussi grande que celle la fonte. Ces trois métaux ont été éprouvés sous un même calibre, de un millimètre carré de section, et se sont rompus sous les poids suivans, agissant dans le sens d'une traction verticale.

Le fer.	40k. . . .	Brown.
Le cuivre.	21	Navier.
La fonte de fer. . .	14	id.

Il est donc facile, d'après ces chiffres, de trouver la force relative de l'enveloppe des chaudières, quand elle aura été calculée pour l'un de ces métaux.

L'excès d'épaisseur dont la table suivante fait mention, n'est plus admise aujourd'hui ; cependant nous croyons utile de le reproduire, elle a été calculée d'après la formule $d=\frac{9rp(n-1)}{t}+3$, où r, est le rayon du cylindre en millimètres, p, la pression de l'atmosphère sur un millimètre carré, $n-1$, l'excès de la pression de la vapeur en atmo- [illegible] l'atmosphère extérieure, et t, le [illegible]acité du meilleur cuivre pour

un millimètre carré. Enfin, le coefficient 9 est destiné à garantir toutes les chances d'explosions, de défauts de construction, de la matière, etc. On ajoute 3 millimètres pour le poids de la chaudière.

Épaisseur des chaudières cylindriques en cuivre pour différentes pressions et différens diamètres, en millimètres.

DIAMÈTRE en CENTIMÈTRES	DEUX ATMOSPHÈRES	TROIS ATMOSPHÈRES.	QUATRE ATMOSPHÈRES.	CINQ ATMOSPHÈRES.	SIX ATMOSPHÈRES.	SEPT ATMOSPHÈRES.	HUIT ATMOSPHÈRES.
50	3,90	4,80	5,70	6,60	7,50	8,40	9,30
55	3,99	4,98	5,97	6,96	7,95	8,94	9,83
60	4,08	5,16	6,24	7,32	8,40	9,48	10,56
65	4,17	5,34	6,51	7,68	8,85	10,02	11,19
70	4,26	5,52	6,78	8,04	9,30	10,56	11,82
75	4,35	5,70	7,05	8,40	9,75	11,10	12,45
80	4,44	5,88	7,32	8,76	10,2	11,64	13,08
85	4,53	6,06	7,59	9,12	10.60	12,18	13,71
90	4,62	6,24	7,86	9,48	11,15	12,72	14,34
95	4,71	6,42	8,13	9,84	11,50	13,26	14,97
100	4,80	6,60	8,40	10,20	12,05	13,80	15,60

Nous allons maintenant décrire plusieurs espèces de chaudières qui, par leur originalité, nous ont paru mériter de fixer l'attention de nos lecteurs.

Les figures 4 et 5 représentent les sections d'une chaudière, dont les inventeurs sont, MM. Horton et Fischer, grands fabricans de chaudières, près de Birmingham. Elle est construite de manière à préserver du rayonnement la vapeur formée, en l'entourant de l'eau même qui a servi à la produire (1).

La fig. 4 représente une section longitudinale de cette chaudière, et la fig. 5 une section transversale. Dans chaque figure, les mêmes lettres se rapportent aux mêmes parties de l'appareil. C'est la surface extérieure de *a*, *a*, qui reçoit d'abord l'action du feu du fourneau sur lequel cette chaudière est établie. *b*, *b*, *b* est le vaisseau ou réservoir intérieur qui doit contenir la vapeur; il est enveloppé d'eau alimentée par le tube *o*, *o*. La chaleur ayant obligé la vapeur à s'épancher par le tube *c*, dans le réservoir *b*, *b*, cette vapeur est

(1) Il nous semble qu'il importe peu de préserver aux dépens de l'eau, la vapeur du rayonnement, dès que la chaleur est toujours empruntée de sa source commune.

dirigée par le tube *e*, à la machine ; c'est sur ce même tube en *n* qu'est établie la soupape de sûreté. *f* est un robinet destiné à retirer de la capacité *b*, *b* l'eau qui peut résulter de la condensation d'une partie de la vapeur, et au-dessous de ce même robinet, il en est un autre en *k*, qui sert à expulser de la chaudière l'eau qu'elle contient. *l*, *l* sont des trous d'homme. Nous ignorons dans quel but les auteurs, par cet arrangement, ont pu préférer d'établir la prise de vapeur dans le magasin *b*, *b* de vapeur, plutôt que dans la partie supérieure, cette dernière ayant toujours une tension à s'élever plutôt qu'à descendre, mais il faut reconnaître que cette construction de chaudière est très remarquable par son originalité.

En 1803, M. Woolf s'est fait bréveter pour une chaudière à vapeur qui a joui d'une grande réputation. Elle a été employée avec beaucoup de succès pendant plusieurs années dans le Cornwal, où elle est appliquée au travail des mines. Nous avons observé déjà que les chaudières à vapeur cylindriques et longues avaient de l'avantage, pour la solidité, sur celles qui ont une forme cubique ar[illegible] M. Woolf a beaucoup contribué à en

augmenter la force, ainsi que leur capacité pour la production de la vapeur à haute pression.

Fig. 6 et 7. Une des plus simples dispositions des chaudières de Woolf, consiste dans un système composé de huit tubes *a*, *a*, *a*, en fonte de fer, de 6 pouces et plus de diamètre, mis en communication par une de leurs extrémités, au moyen d'un tube A auquel ils sont adaptés. Ce tube plus large, placé en dessus de ce système, sert aussi de réservoir de vapeur; le fourneau est divisé en deux parties par une cloison longitudinale qui croise les huit tubes et qui les fixe horizontalement. L'âtre B est à une des extrémités de cette séparation, et la flamme et l'air échauffé passent tantôt au-dessus, tantôt au-dessous de chacun de ces tubes; arrivée au fond, elle repasse de la même manière sur chacun des tubes placés dans la seconde division de l'autre côté de la cloison; enfin, dans son trajet, elle lèche encore le dessous du réservoir de vapeur avant de se rendre à la cheminée. Chacun des tubes bouilleurs est fermé à une de ses extrémités par une plaque de fer, qui peut facilement s'enlever et permettre leur nettoyage ou l'enlèvement des incrustations. L'eau consom-

mée en vapeur est reproduite dans les chaudières par les moyens ordinaires d'une pompe refoulante, et la vapeur est conduite à la machine par un tube qui prend son origine au réservoir de vapeur. Il n'est pas hors de propos, dit M. Woolf, d'appeler l'attention des constructeurs sur cette circonstance, que dans la plupart des cas, il est nécessaire que la flamme ou l'air échauffé s'arrondisse au-dessus et au-dessous des tubes, de manière à embrasser la plus grande surface possible. Il est évident, en outre, que les tubes peuvent être fabriqués de plusieurs sortes de métal; cependant, je crois que la fonte de fer est préférable. Le calibre des tubes peut varier; cependant, je crois aussi qu'il importe de ne pas leur donner un trop grand diamètre, car on se rappelle qu'il est plus difficile de donner de la solidité à de grands tubes, la force qui tend à les rompre étant proportionnée à l'étendue de leur rayon. Les tubes bouilleurs doivent être toujours pleins d'eau, et le réservoir à vapeur à moitié.

Les figures 8 et 9 représentent un système pour lequel M. Thomas Tippet, du Cornwall s'e[illegible]éveter. La fig. 8 est une vue de [illegible] 9 est u[illegible]e de face. Les mêmes

lettres se rapportent aux mêmes parties de l'appareil dans l'une et l'autre figure. *a* est un grand bouilleur cylindrique qui contient un tube intérieur, où doit se produire le principal courant de flamme. Du dessus de la partie extérieure du bouilleur partent trois corps de tube *b*, *b*, *b* qui supportent un vaisseau demi-cylindrique *c*. De l'extrémité postérieure du cylindre *a*, part un tube *d*, communiquant avec une petite chaudière supplémentaire et cylindrique *e*. Elle est d'un diamètre égal à celui de *a*, mais elle est très courte. Cette chaudière est adaptée sur un fourneau, dont les coursives sont tellement disposées, que l'air échauffé, en passant au travers de *f*, vient frapper la surface plane de la petite chaudière supplémentaire. Après cela, la flamme passe au-dessous de la surface plane de la partie demi-cylindrique supérieure, en traversant les rangées de tubes. Elle redescend ensuite par dessous la chaudière principale, et va se mettre en contact de nouveau avec le derrière de la chaudière supplémentaire; elle remonte, lèche encore l'extrémité plane de la capacité demi-cylindrique, et s'échappe dans la cheminée.

Une ingénieuse disposition pour exposer l'eau par couches minces sur de grandes sur-

faces de métal, a été essayée par M. John Curdy, des États-Unis. Son système consiste en une série de tubes cylindriques avec des couvercles sphériques arrangés horizontalement en forme de pyramide au-dessus d'un fourneau, de telle façon que la flamme circule en tous sens autour d'eux. Chacun de ces cylindres en contient un autre d'un diamètre assez petit pour qu'il reste entre deux un espace très mince. Cet espace est d'ailleurs maintenu uniforme par une lame en spirale qui entoure le petit tube. Le cylindre du milieu est hermétiquement bouché à ses deux extrémités. Une pompe foulante oblige l'eau de passer dans l'espace mince qui existe entre les deux cylindres, et cette eau passe ensuite dans les autres tubes de la même manière. Il résulte de là que l'eau, obligée de se mettre en contact avec le métal, se réduit rapidement en une vapeur de très haute tension.

Nous n'avons pas su pourquoi cet appareil n'a pas reçu d'application plus étendue, mais nous pensons que les difficultés et les frais de construction, la dureté des dépôts ou incrustati[illegible]e forment dans l'espace étroit où [illegible]apeur, la difficulté de les en-

lever, la chute accidentelle de quelques-unes de ces incrustations, et le découvrement du métal rouge qui en est la conséquence, sa prompte destruction en sont la cause. Cette invention n'est cependant point dénuée de quelque mérite, et peut fournir des idées aux constructeurs.

Chaudière de M. Serle.

Cette chaudière se compose d'un grand cylindre vertical au milieu duquel se trouve le fourneau et des tubes cylindriques qui contiennent l'eau destinée à être convertie en vapeur. Les capacités à eau s'élèvent d'abord du fond, en forme conique, par une suite de tubes inclinés *h*, *h*, fig. 10 et 11, qui communiquent à un large tube central *d*, d'une part et de l'autre, avec l'espace annulaire extérieur *c*, *c*. D'autres tubes, tels que *e*, *e*, horizontaux, établissent également une communication entre le tube central et l'anneau extérieur. *g* est la grille au-dessus de laquelle se trouve le combustible, et la flamme en montant, s'arrondit autour de chacun des tubes dont nous venons de donner la description, et passe ensuite dans les tubes *i*, *i*, et de là à la cheminée. La fig. 11 est une section horizontale de la même chaudière

Il résulte de cette disposition, que les tubes *h*, *h* reçoivent la plus grande somme de chaleur; que l'eau qu'ils contiennent, en raison de sa dilatation, s'élèvera par le tube central pour aller occuper la partie supérieure de l'appareil, tandis que celle qui est plus froide, tendra incessamment à la remplacer en s'écoulant par le tube annulaire *c*, *c*. Les flèches indiquent la manière dont s'opèrent les courans dans l'intérieur de cette chaudière.

Nous allons maintenant donner la description de l'invention brévetée de M. James (1823). Elle consiste en une série de tubes annulaires d'une égale capacité et d'un diamètre uniforme, juxta-posés et liés ensemble, de manière à former un cylindre destiné à contenir le fourneau. Ces tubes annulaires sont fabriqués en tôle ou fer malléé, d'une épaisseur d'un $\frac{1}{16}$ de pouce. Ils ont un pouce de diamètre, et sont capables, comme ils l'ont prouvé, de supporter une pression de plusieurs milliers de livres par pouces carrés. Dans [illegible]-unes de ces chaudières, les tu[illegible] sont carrés, ce qui facilite

leur juxta-position, et fait disparaître l'espace perdu qui existe dans le procédé décrit plus haut. Tous ces anneaux communiquent les uns aux autres par des ouvertures communes. Les unes dans la partie supérieure, pour le passage de la vapeur, les autres, dans la demi-circonférence inférieure, pour la circulation de l'eau. Quand il est question d'établir une chaudière d'une grande puissance, M. James place deux systèmes semblables, d'une manière concentrique.

La fig. 12 représente une section de l'appareil. La partie occupée par l'eau, désigne les tubes annulaires. *b*, *b* sont les ouvertures qui établissent une communication pour la vapeur, et *cc* pour l'eau. Le niveau d'eau est maintenu à la hauteur voulue, au moyen d'un vase auxiliaire qui n'est pas indiqué dans la planche. Le fourneau se compose de deux plans de grilles inclinés, placés à une des extrémités du système, et la flamme se dirige à l'autre. La partie extrême et opposée est fabriquée de manière à pouvoir se détacher facilement. Le bouilleur suspendu sur des rouleaux fixés sur un siége convenable, est susceptible de tourner selon son axe, et chaque tube annulaire contient une cert

quantité de petites boules de métal et de particules angulaires également de métal, destinées à rouler dans l'intérieur des tubes annulaires, quand après avoir enlevé le fourneau et la cheminée, on imprime au système un mouvement de rotation. On parvient ainsi à détacher les incrustations. Pour prévenir les pertes par le rayonnement du calorique, l'auteur enveloppe son système d'une chemise qui contient de l'argile mêlée avec de la poussière de charbon de bois.

Nous avons plusieurs fois vu en fonctions une chaudière de M. James, construite sur ce principe; elle a trois pieds et demi de longueur sur 20 pouces de diamètre, elle produit de la vapeur à une haute pression, et fait mouvoir une machine de la force de trois chevaux. Le piston-moteur a 3 pouces de diamètre et un pied de course. La chaudière se compose aussi de tubes annulaires, mais divisés en deux parties. Chaque demi-tube vient se lier avec deux tubes horizontaux, placés l'un au-dessus de l'autre dans toute la longueur de la chaudière. Ces tubes reçoivent l'[illegible] des demi-tubes annulaires, par le [illegible] joints rivés et mastiqués, de ma- [illegible] communication directe

avec eux. Le tube horizontal supérieur contient de la vapeur, celui de dessous, de l'eau. Quelque solides que paraissent à l'œil les moyens de jonction de ces différens tubes, et quelques soins qu'on ait mis à les bien fabriquer, quand le feu agit sur les joints, il les altère, et il en résulte une grande source de perte et d'inconvéniens.

Avant d'abandonner ce sujet, nous croyons devoir appeler l'attention de nos lecteurs sur une circonstance particulière aux chaudières de M. James, fig. 12. Nous pensons que la chaleur élevée, appliquée à la vapeur, empêche l'eau de passer à la machine, par suite de la disposition de son système. Car c'est un inconvénient grave qui a été observé dans beaucoup de chaudières tubulaires, et quoiqu'il n'en soit pas de même dans le système de M. James, quand le feu est régulier, que le niveau d'eau est bon, et que les tubes annulaires sont propres ; cependant, il est possible que, par l'absence d'une de ces conditions, l'eau vienne à manquer. Nous croyons qu'il conviendrait de donner un plus grand diamètre aux tubes, deux pouces, par exemple, parce qu'alors, la plus grande quantité d'eau qu'ils contiendraient, les rendrait

paragraphes précédens. La vapeur engendrée dans les petits tubes, en vertu de sa légèreté, se fait issue au travers de l'eau du vase *e*; elle l'échauffe, et vient en occuper la partie supérieure ; elle passe ensuite par le tube bifurqué *f*, *f*, pour se diriger par *g*, à la machine.

Pour obvier à l'accumulation des dépôts et des incrustations, M. Gurney propose l'emploi des moyens chimiques suivans. Si les tubes sont en fer, une partie d'acide muriatique mêlée à 100 parties d'eau, seront introduites dans l'appareil, et y resteront pendant un tems suffisant pour dissoudre les incrustations. Si l'appareil est en cuivre, on emploiera une solution composée d'une livre de sel commun, sur une demi-livre d'acide sulfurique, mélangées avec quatre gallons d'eau. Pour hâter l'opération, on chauffera légèrement l'appareil, et la vapeur qui se formera, servira à expulser la dissolution.

Un des grands avantages attachés à l'emploi de cette chaudière, repose sur la facilité avec laquelle on peut changer ou réparer les tubes avariés ; une heure de travail suffit pour en [illegible] un. Ainsi que dans toutes les chau[illegible]ulaires, les petits tubes sont à l'a-

bri des explosions; quant au vase *e*, ou le séparateur, cette capacité n'étant au fait qu'un réservoir de vapeur, il rentre dans les conditions de résistances communes aux capacités de même grandeur et de même épaisseur de métal. Les petits tubes étant constamment remplis d'eau, ils ne sauraient être endommagés par le feu.

Le dessin qui porte le n° 17, représente une chaudière qui a été adaptée aux voitures locomotives; elle est de MM. *Summers* et *Ogle*. Elle est composée d'une série de tubes placés verticalement, et au milieu desquels passe un tuyau. *a*, *a*, *a* représentant les tubes extérieurs qui contiennent l'eau et la vapeur; *b*, *b*, *b* sont les tubes intérieurs qui livrent passage à la flamme ou à l'air échauffé; il en passe aussi en dehors de chaque tube extérieur. L'eau est refoulée dans l'espace vide qui sépare les deux tubes. *c*, *c*, *c* sont les extrémités débouchées des tubes intérieurs qui passent au travers des écrous *d*, *d*, *d*, à chacun des fonds. Ces écrous servent à les maintenir à leur place. L'eau est refoulée dans l'appareil par le tube *f*, et la vapeur produite passe à la machine au moyen du tube, *i*; la grande quantité de surface en

contact avec la flamme, en admettant que le tirage s'effectue malgré le resserrement des passages, doit produire une grande absorption de chaleur. L'économie du combustible n'est cependant pas autant à considérer dans une voiture à vapeur que dans une machine fixe. Cette machine a cela d'avantageux, qu'elle est d'une réparation et d'un démontage facile, chaque tube pouvant se détacher par un simple dévissement d'écrou. La main-d'œuvre exige toutefois une grande précision, les tubes doivent avoir exactement la même longueur, chaque partie doit se correspondre avec rigueur, autrement il en résulterait une source d'inconvéniens et des pertes de vapeur notables.

La fig. 18 représente un appareil ou générateur de M. Perkins, employé pour faire mouvoir une machine de la force de 30 chevaux. Cette machine est à très haute pression et à détente. Une série de trois rangs de barres de fer ayant 5 pouces en carré, percées longitudinalement d'un trou qui a un demi-pouce de diamètre, composent ce système. Ces trois rangs de barres percées repo-[illegible]ent par leurs extrémités sur les murailles du [illegible]urneau ; el[illegible]mmuniquent toutes entr'el-

les, au moyen d'une pompe foulante dont la soupape est pesamment chargée.

On injecte de l'eau dans deux rangées de tubes, de manière à les maintenir constamment pleins. La dernière rangée de barres ou tubes qui est aussi celle qui est la plus proche du foyer, ne contient pas d'eau et acquiert une température voisine de 1000 degrés Fahrenheit. A chaque coup de piston de la machine, une certaine quantité d'eau contenue dans les rangées de barres supérieures (leur température est d'environ 700 ou 800 degrés Fahrenheit) est refoulée dans la boîte à valve C, communiquant avec la rangée inférieure des tubes D; de là elle passe dans le premier tube de la dernière rangée, et successivement dans tous les autres; elle y est convertie en vapeur de très haute tension, et passe ensuite dans une chambre ou réservoir de vapeur L d'où elle est dirigée à la machine. Les tubes ont été faits carrés et d'une grande épaisseur, afin de servir de réservoir de chaleur, et pour prévenir les inégalités que le chauffage pourrait produire, la quantité d'eau contenue dans les tubes, étant très petite.

Pour prévenir les effets destructeurs résultant de l'action directe de la chaleur sur les

matières dont les tubes sont construits, beaucoup de projets ont été mis en œuvre. Trois de ceux-là nous ont paru mériter l'attention de nos lecteurs.

Le premier est de M. Aaron Manby. On sait bien que l'huile et d'autres matières grasses ont la propriété d'acquérir une température bien supérieure à celle de l'eau bouillante, sans être décomposées. Cette propriété de l'huile qui n'avait pas encore été appliquée au travail des machines à vapeur, fait la base de l'invention de M. Manby.

La construction de son appareil est figurée (fig. 19) par une section perpendiculaire à la longueur pour ce qui regarde le vase, *b*.

a est un bouilleur oblong placé sur un fourneau d'une construction ordinaire. Ce vaisseau contient de l'huile à laquelle on affecte une température d'environ 300 degrés Fahrenheit. *b*, est un fort cylindre qui contient l'eau destinée à être convertie en vapeur. On voit circuler dans sa capacité intérieure un système de tubes qui se communiquent tous. Au travers de ce tube on fait passer, au moyen d'une pompe foulante, *c*, mue par la machine, un courant d'huile provenant de la chaudière *a* ; cette huile arrive par

d, et se dirige par *e*, aux tubes calorifères. L'huile en passant dans les tubes en question, communique à l'eau sa température, la convertit en vapeur, et cette dernière acquiert plusieurs atmosphères de pression. L'auteur prétend que, par ce procédé, on peut obtenir une pression très élevée sans courir aucun danger, et que la quantité de feu nécessaire pour obtenir la conversion immédiate de l'eau en vapeur est très petite. Cependant la manière dont s'effectue l'économie en question n'est pas très apparente, et quoique les dangers d'explosion soient considérablement amoindris dans le vase à vapeur, l'effet dangereux d'une conflagration accidentelle devient possible par suite de la proximité du fourneau, d'une masse aussi grande de matière inflammable telle que l'huile. L'emploi d'un semblable procédé paraît imprudent. L'huile aura aussi cet inconvénient de s'épaissir et de se glutiner à la longue.

Le second procédé dont nous avons à rendre compte est de l'invention d'un Allemand, le docteur Ernest Alban, physicien à Rostock. La matière qu'il emploie pour chauffer l'eau est un mélange d'étain et de plomb auxquels par leur fusion, il affecte une tempéra-

ture requise pour produire de la vapeur. Les vases générateurs sont des tubes suspendus dans ce bain de métal liquide.

La fig. 20 représente une section longitudinale d'un de ces vaisseaux, et la fig. 21, une section transversale des deux. Ils sont en fonte de fer, et ont la forme représentée par *a*, *a*, *a*; les lettres *b*, *b*, désignent le bain de métal. Le couvercle de l'appareil, *c*, *c*, contient une chambre cylindrique de deux pouces de diamètre; les tubes générateurs *d*, *d*, *d*, en fer malléé sont suspendus dans le bain. Leur diamètre intérieur est de 1 ½ pouces, et ils sont vissés sur le couvercle *c*, *c*, de manière à pouvoir s'enlever facilement quand il est question de les nettoyer. *e* est le tube d'injection au travers duquel passe l'eau alimentaire; il est percé d'autant de trous qu'il y a de tubes générateurs, et ces trous correspondent à leurs orifices supérieures. La section transversale (fig. 21) montre le double vaisseau. Cet appareil entier est établi sur un fourneau, de manière à mettre ses quatre faces en contact avec la flamme ou l'air échauffé. Ayant 4 pieds de longueur sur 3 pieds et 6 pouces de hauteur et 9 pouces de large, la surface exposée au feu sera de 64

pieds carrés. L'injection se produit à la fois dans les deux rangs de tubes, au moyen d'une pompe refoulante, mue par la machine. Le tuyau qui conduit l'injection est muni d'une valve à poids, de telle manière que si la production de la vapeur est trop grande pour le besoin de la machine, la pression agira contre l'injection, le poids se soulevera, et la pompe foulante restera inactive jusqu'à ce que la pression sera diminuée par la cessation de production et la dépense de la machine. Pour prévenir la fusion des générateurs dans le cas où on n'a besoin que d'une petite quantité de vapeur, ou dans ceux où la machine étant arrêtée, il y a suspension dans la production de vapeur, l'auteur a adapté à son appareil un système qui est destiné à régler le feu dans son intensité. Ce système indique la température du bain d'où dépend l'action de l'appareil. La pression de la vapeur n'influe point sur lui, ce régulateur continuant d'agir bien que la production de vapeur ait cessé. Ce régulateur de chaleur est différent de tous ceux qui ont été employés jusqu'à présent. Son application à cet appareil est indispensable pour prévenir la décomposition de l'eau d'injection dans les tubes surchauffés. Il con-

siste en deux tubes remplis d'air atmosphérique (il y en a un dans chaque moitié de l'appareil) ; ces tubes, *g*, sont plongés dans le bain métallique. De l'extrémité supérieure de ce tube, part un autre tube, *h*, (fig. 20) ou *i*, (fig. 22) très étroit et qui va aboutir à une cuvette de mercure, *a*, (fig. 22) ; cette cuvette est surmontée d'un tube, *b*, dans lequel circule un flotteur, *c*; ce flotteur communique par le moyen de la tige, *d*, avec la bascule *e*, laquelle, au moyen de *f*, agit sur un registre destiné à obstruer plus ou moins la cheminée ou les courans de flammes ; quand l'air, par suite d'une trop grande chaleur de la part du bain métallique, se dilate dans le tube *g*, il agit sur le mercure de la cuvette, celui-ci sur le mercure du tube *b*, le flotteur monte et le registre descend. On peut ainsi graduer l'instrument, de manière à suspendre plus ou moins ou même entièrement l'action du feu sur le bain.

Bien que l'inventeur intelligent de cet appareil, d'après ce que nous avons appris, n'ait pas été heureux dans son application, il a cependant droit à l'attention des mécaniciens pour l'originalité et la disposition ingénieuse de plusieurs parties de son système.

L'emploi comme bain, d'un métal fluide possédant éminemment la qualité d'être bon conducteur de la chaleur au lieu d'une substance inflammable, comme l'huile qui d'ailleurs a des propriétés conductrices contraires, promettait de meilleurs résultats, outre qu'il rendait l'usage de cet appareil parfaitement sûr.

M. Parter est l'inventeur du troisième procédé dont nous avons promis de donner la description. La fig. 23 représente une section longitudinale de son appareil; *a*, *a*, est le réservoir de vapeur fabriqué en tôle. *b*, est le générateur ou du moins une partie du générateur, puisqu'il se compose d'un système de tubes dont la planche ne montre qu'une section. La ligne ponctuée *c* marque la hauteur du bain, *d* est un tube aspirateur qui sert aussi à dégorger de vapeur la capacité *a*, quand par suite d'une chaleur inégale, elle n'a pas été condensée par la température plus basse du bouilleur; *e* est un fourneau ordinaire; *f*, le cendrier; *g*, la cheminée; *h*, le tube alimentaire du générateur, au travers duquel passe l'eau qui est refoulée par une pompe foulante ordinaire, mue par la machine; *i* est le tube qui conduit la vapeur à la machine. L'eau injectée par le tube *h*, étant

exposée, pendant sa route au travers du générateur, à la chaleur de la vapeur fournie par le bain sous-jacent, est bientôt convertie elle-même en vapeur, avec une température et une force élastique relatives. La vapeur du bain, par cette opération, ayant déposé une portion de chaleur contre le générateur, se convertit partiellement en eau, qui retombe sur le bain pour se reproduire de nouveau en vapeur. Il est évident que la température de la vapeur produite doit être uniforme et relative à la température de la vapeur du bain, et que le bouilleur étant débouché, elle ne saurait acquérir un trop grand degré de chaleur. Les explosions ne sont donc pas possibles.

Ce mode de chauffage, d'après ce que nous avons appris, a été employé avec beaucoup de succès pour la préparation des extraits végétaux et pour d'autres opérations de chimie qui demandent une grande régularité de chaleur. Sous le rapport de son application aux machines à vapeur, nous pensons qu'elle n'a été employée que par l'auteur. On a probablement craint la dépense résultante de l'évaporation et de la perte du liquide qui sert de bain. Les substances employées étaient de

l'essence de térébenthine, de l'huile de naphte, et d'autres matières provenant de la distillation des houilles, formant plusieurs sortes de mélanges dont les points d'ébullition variaient de 200 à 700 degrés F.

Dans le commencement de ce chapitre, nous avons parlé des inconvéniens qui résultent des dépôts et des incrustations qui se forment dans l'intérieur des chaudières, ainsi que de la difficulté qu'on éprouve à les enlever. Souvent ces dépôts ont plusieurs pouces d'épaisseur, et deviennent aussi durs que de la poterie, dans la partie de la chaudière qui reçoit l'action directe du feu. Pour être enlevées, ces incrustations exigent un long et pénible travail; des hommes, à cet effet, entrent dans la chaudière et les détachent à coups de marteau et au moyen d'un ciseau à froid. Ces dépôts sont aussi la cause de sérieux inconvéniens; ils forment une matière non conductrice (réfractaire), qui expose le métal sous-jacent à rougir par l'action du feu, il en résulte une destruction prématurée de cette partie de l'appareil, ou un dommage considérable. Divers procédés ont été essayés pour obvier à ces inconvéniens : plusieurs ingénieurs introduisent dans leurs

chaudières des matières végétales fibreuses ou mucilagineuses, telles que du son ou de petites cosses, contre lesquelles les matières déposées viennent adhérer sans beaucoup de dureté, et qu'il est facile d'après cela d'enlever.

Dans l'année 1828, M. Antony Scott prit une patente pour un procédé très efficace pour pourvoir à ces inconvéniens, il consiste à placer au fond des bouilleurs des vases façonnés comme eux et destinés à recevoir les dépôts qui par leur pesanteur spécifique tendent toujours à descendre et à occuper cette partie de l'appareil. Ces vases sont en pierre, en tôle ou même en bois; ils empêchent bien un peu l'ébullition de l'eau, mais ne contrarient nullement son échauffement, ni son évaporation; ils sont du reste faciles à être enlevés et nettoyés.

Plus récemment, en 1830, M. William Taylor a pris une patente pour un procédé destiné à pourvoir aux mêmes inconvéniens sans nécessiter l'arrêt des fonctions de l'appareil évaporatoire. Il consiste dans l'adjonction d'un tube inférieur à l'appareil, et qui fait suite avec lui en se prolongeant dans toute la longueur de la chaudière; ce tube, fig. 24, est

muni d'une valve à une de ses extrémités, par laquelle on expulse une partie de l'eau qu'il contient, laquelle eau, par sa position abaissée, par rapport à l'appareil, est éminemment saturée des substances déposées. Il s'aide, à cet effet, de la pression intérieure de la vapeur contenue dans le bouilleur. *a*, *a* est la chaudière, elle est cylindrique, son foyer est intérieur ; *c* est le vaisseau à dépôts. Quand l'appareil est placé au-dessus de son fourneau, l'auteur place deux systèmes semblables à côté et dans les parties latérales du fourneau. Les droits de M. Taylor à cette invention sont contestables, car son procédé a été employé avant la date de son brevet. Du reste c'est un accessoire d'une utilité très grande.

Relativement aux dépôts considérables de sels qui se produisent dans les chaudières des bateaux à vapeur marins; il est indispensable, dans les longs voyages, d'arrêter leur marche pour renouveler intégralement l'eau des chaudières. Car, si on continuait le chauffage après qu'une grande quantité de dépôts se fussent produits, on ne pourrait obtenir de la vapeur qu'avec le secours d'une grande consommation de chaleur, et cette chaleur

intense attaquerait le métal dont les chaudières sont fabriquées.

Pour obvier à de si grands inconvéniens, MM. Mandsley et Field ont proposé une méthode par laquelle l'eau de la base de la chaudière est constamment renouvelée. Ces mécaniciens établissent, que si l'on extrait de la chaudière le 20 ou le 30 pour cent de l'eau concentrée en saumure, il en résultera un certain degré de salure dont on n'aura rien à redouter, quelque longue que soit l'action de l'appareil évaporatoire, la portion d'eau enlevée par cette extraction étant, bien entendu, remplacée par une pareille quantité d'eau de mer naturelle. L'extraction de la saumure de la base de la chaudière est opérée par le moyen d'une pompe qui enlève la quantité d'eau déterminée plus haut, et qui est mue par la machine.

Le travail de cette pompe, toutefois, ne doit commencer que lorsque l'eau a acquis un certain degré de saturation. Il faut pour cela qu'elle contienne cinq fois autant de sel que l'eau de mer commune ou naturelle; après cette époque, la pompe à chaque coup enlève autant de sel qu'il s'en dépose par suite de l'évaporation de l'appareil. Par ce



moyen, l'eau de la chaudière ne saurait jamais acquérir un plus haut degré de saturation que celui qu'on a déterminé plus haut; que la machine fonctionne avec vitesse ou lentement, la quantité d'eau extraite de la chaudière est toujours remplacée par une pareille quantité d'eau naturelle, et on évite ainsi un des plus graves inconvéniens auxquels les bateaux à vapeur marins sont soumis dans les voyages de long cours. Ensuite MM. Mandsley et Field ont proposé de faire passer l'eau chaude dans une capacité semblable à un réfrigérant, contenant une série de tubes d'un petit calibre. Au travers de ces tubes plongés dans l'eau chaude provenant de l'extraction, passe l'eau naturelle destinée à la remplacer, et qui s'échauffant par ce moyen, restitue à la chaudière la portion de chaleur enlevée par cette même extraction.

En 1824, M. Smith introduisit dans les salines de Lancashire, un procédé pour produire l'évaporation de l'eau salée, au moyen de la vapeur à haute pression, agissant au-dessous des bassins réservoirs. Mais comme dans le principe, ces bassins étaient d'une grande étendue, ils ne purent d'abord soutenir la haute pression de la vapeur, et l'i-

venteur se trouva dans la nécessité de modifier son appareil pour lui donner la solidité requise. Les fonds des deux capacités furent, ainsi qu'il est représenté dans la fig. 25, liés l'un à l'autre au moyen de tirans et d'écrous ; il parvint ainsi à construire un générateur de vapeur à haute pression très efficace, et pour lequel il prit une patente dans laquelle il spécifie qu'il le regarde comme très applicable aux machines à vapeur. Une de ses modifications consiste dans l'addition d'un bassin supérieur *a*, les plans de ces capacités ont une forme de parallélogramme, et les tirans sont placés à une distance de 9 pouces les uns des autres, dans toute l'étendue de la superficie de ces mêmes plans. L'eau alimentaire est fournie par une pompe foulante, telle qu'elle est représentée dans la figure, et chaque capacité est munie de plusieurs robinets destinés à marquer la hauteur du niveau de l'eau et l'état de la vapeur. *e*, *e*, sont les tubes expulseurs de la vapeur ; *f*, *g*, sont des soupapes de sûreté adaptées [illegible]hacune des capacités. La patente spécifie [illegible]deux pouces d'eau sont nécessaires dans [illegible]pacité [illegible]férieure, tandis que l'autre en [illegible]e. Par suite de l'ébullition de

l'eau inférieure, la surface sous-jacente de la capacité supérieure s'échauffe ; il en résulte une condensation et une reproduction de vapeur successive, et l'eau du vase supérieur ne tarde pas à se réduire en vapeur d'une température uniforme. Quoique l'étendue des surfaces chauffées soit favorable pour engendrer avec abondance et rapidement de la vapeur, cependant la multiplicité des tirans et boulons, dont cet appareil est fourni, augmente la difficulté de le rendre parfaitement étanche.

En général, les courans de flammes dans la plupart des chaudières à vapeur, sont horizontaux et plus ou moins étendus. La flamme les parcourt et remonte ensuite dans la cheminée; quelquefois elle y passe en descendant, et dans la plupart des cas, on cherche par des moyens plus ou moins ingénieux, à lui faire parcourir plusieurs routes détournées, afin de la dépouiller autant que possible de la chaleur qu'elle contient. M. Joseph Gibbs a imaginé une chaudière qui possède par son originalité des droits à l'attention publique. La forme de la chaudière supérieure est cylindrique, un tube vertical inférieur d'une grande capacité et longueur lui est adapté à

sa base; le premier vaisseau contient de l'eau jusqu'aux quatre cinquièmes de sa hauteur, l'autre cinquième étant réservé pour la vapeur; le tube inférieur est plein d'eau. Au milieu du vaisseau supérieur se trouve le foyer, et l'air nécessaire à la combustion s'y introduit par un tube placé en dessus. L'eau du vase supérieur s'échauffe la première, et la flamme ou l'air échauffé descend dans un tube situé au milieu du tube descendant dont nous avons parlé plus haut, qui est plein d'eau. Elle passe de là à la cheminée adaptée au fond de ce tube. Pour allumer le feu et établir le tirage, on place temporairement au-dessus du fourneau un tube vertical qui fait l'office de cheminée, et qui communique même avec celle qui part du fond de l'appareil. Le feu étant allumé, on retire la cheminée temporaire, et le tirage continue en se dirigeant vers le fond de l'appareil. Par cet arrangement, M. Gibbs profite de tous les gaz résultant de la combustion, encore qu'ils soient en contact avec l'eau froide alimentaire qui arrive par la base de son appareil. Dans la spécification de son brevet, M. Gibbs a aussi [illegible]ionné une disposition qui consiste en [illegible] un cylindre bouilleur horizontal, muni

de trois branches descendantes, et un autre auquel est adapté un tube descendant en forme de zigzag; quoique cette dernière partie de l'appareil soit d'une construction facile, elle n'est pas aussi favorable pour l'établissement des courans descendans.

L'action partielle résultant de l'inégalité de la chaleur dans la plupart des bouilleurs, produit dans l'intérieur de ces capacités des courans particuliers qui ont été l'objet de plusieurs observations. Ce mouvement du fluide a donné naissance à plusieurs inventions, dont le but a été de produire une économie dans la production de la vapeur; M. Jacob Perkins s'est fait remarquer par deux procédés (1831 et 1832), pour lesquels il s'est muni de brevets. Mais la nature procédant elle-même, sans l'assistance d'aucun moyen mécanique particulier, à la circulation du fluide en question, nous ne donnerons qu'un aperçu succinct des moyens employés par Perkins.

Le premier consiste à faire mouvoir dans l'intérieur des bouilleurs des surfaces de métal ou des caisses destinées à déplacer le liquide. Le second à augmenter tellement ces capacités en mouvement qu'il ne reste en-

tr'elles et les parois internes du bouilleur, que quelques pouces d'intervalle.

Il faudrait un bien grand ouvrage pour décrire tous les appareils de diverses formes, qui ont été imaginés en vue d'économiser le plus possible le combustible destiné à la production de la vapeur; en nous bornant à signaler ceux qui sortent de la ligne ordinaire, nous n'avons pas encore fait mention des chaudières affectées au service des bateaux à vapeur.

Dans celles-ci, la condition essentielle est que l'âtre, le fourneau, soient entièrement entourés d'eau, de manière à n'être en aucune manière en contact avec l'intérieur du vaisseau. Nous donnerons la description de deux chaudières de ce genre.

Les dessins, (fig. 26, 27, 28), montrent la chaudière du bâtiment à vapeur, *l'United Kingdom.* Ce navire a 148 pieds de longueur et est muni de deux machines de la force de 100 chevaux chacune, qui sortent de la fabrique de M. Napier, de Glascow. Cette chaudière a 25 pieds et demi de long, 19 pieds de largeur et 8 pieds et demi de hauteur. Huit fourneaux *b*, *b*, suivis de leurs carneaux prolon[illegible] jusqu'au fond de la chaudière, [illegible]urs grilles *c*, *c*, servent à l'éta-

blissement des feux. Un carneau transversal *d*, s'étendant dans toute la largeur de la chaudière, correspond à l'ouverture de chacun des huit carneaux; un retour de flamme s'opère dans d'autres carneaux *e*, *e*, correspondant aux premiers, et ces derniers viennent s'adapter à un second carneau transversal *f*, au milieu duquel aboutit la cheminée *g*. Les robinets *h*, *h*, *h*, sont destinés à s'assurer du niveau de l'eau dans la chaudière; et on a aussi ajouté un tube de verre *i*, *i*, muni de deux robinets l'un en dessus l'autre en dessous, dans lequel on voit à chaque instant le niveau de l'eau, quand ces mêmes robinets sont ouverts. Il est nécessaire de les ouvrir tous les deux pour cet objet afin que la pression dans le tube s'équilibre avec celle de la chaudière.

Dans les figures 29, 30, 31, on a représenté la disposition d'une chaudière particulière due à M. Stunstrup, suédois. Elle se divise en deux capacités *a*, et *b*, mises en communication au moyen de tubes verticaux. Les figures 30 et 31, montrent une section transversale et longitudinale de cet appareil, les mêmes lettres dans chacun des trois dessins, se rapportent aux mêmes parties. *a*, est la capacité

supérieure ou chambre de vapeur; *b*, la capacité inférieure communiquant avec la supérieure par les flancs, et ensuite par les tubes verticaux *c*, *c*; *d* est la grille où le feu prend naissance; *e*, l'arceau du fourneau; *f*, le cendrier; *g*, la naissance de la cheminée entourée d'eau; *h* est le réservoir à vapeur et *k* le trou d'homme. Il faut remarquer que les tubes verticaux *c*, *c*, servant également à soutenir le vaisseau supérieur et à établir une communication entre les deux capacités, reçoivent, par leur position dans l'âtre, la plus grande somme de chaleur, et fournissent plus de vapeur que les autres parties de l'appareil; ceux qui sont très près de la grille, en particulier, produisent beaucoup de courans ascendans et descendans qui sont jugés très favorables à la production de la vapeur; en outre, par suite de la grande capacité de l'âtre, quelqu'abondant que soit le feu, il est avantageusement utilisé par le concours de la cloison *e*.

Nous avons déjà suffisamment expliqué les moyens usuels par lesquels on alimente [illegible]audières dites à tombeau. Toutefois la [illegible] indispensable d'alimenter avec ré[illegible]dières, a beaucoup exercé

l'imagination des constructeurs; nous allons terminer cet article par la description d'une méthode efficace et simple pour laquelle M. W. Taylor a pris une patente. Dans le dessin (fig. 32); *a* représente une portion de la chaudière; *b* est un réservoir d'eau alimentaire hermétiquement bouché; *c* est un tube qui apporte à cette caisse l'eau alimentaire, il est muni d'une soupape en *d*, ouvrant de dehors en dedans; *e* est un tube de vapeur partant de la chaudière, et s'alongeant jusque dans la partie supérieure de la caisse, et *c* est le tube à eau, prenant naissance au fond de la caisse *d*, et communiquant avec la chaudière à vapeur. Ces deux tubes portent chacun un robinet *f*, *f*, muni d'une queue à fourchette destinée à recevoir un appendice de métal supérieur à la tige d'un flotteur *k*. Cette tige passe au travers d'une boîte à étoupe fixée au dôme de la chaudière. Cela posé, quand par suite de l'évaporation, le niveau de l'eau baisse dans la chaudière, le flotteur descend, et dans ce mouvement entraîne les deux leviers des robinets qui s'ouvrent; alors la vapeur monte dans la caisse à eau par le tube *e*; la pression s'équilibre avec celle de la chaudière, et l'eau

s'épanche dans son intérieur par le tube *g*, jusqu'à ce que le flotteur remontant opère la fermeture des robinets, par un mouvement contraire au précédent. Plus tard la condensation s'opère dans la caisse *b*; le vide s'y opère, et l'eau se fraye un passage par *c*, au travers de la soupape *d*.

Des chaudières tubulaires.

On entend par chaudière tubulaire, un appareil composé d'une plus ou moins grande série de petits tubes d'un faible diamètre et d'une épaisseur proportionnée, dans lesquels on n'injecte que tout juste la quantité d'eau nécessaire pour produire un ou plusieurs coups de piston. Ces tubes sont fortement chauffés, et destinés à produire de la vapeur à haute pression. M. Gurney, professeur de chimie à Londres, est un de ceux qui se sont appliqués avec le plus de persévérance, à adapter des pareils systèmes aux voitures locomotives. Ce professeur, dans ses expériences, avait trouvé que les notions généralement admises sur la chaleur n'étaient pas correctes, et que l'étendue des surfaces de chauffe, affectées ordinairement aux chaudières étaient exagérées. Que leur puissance



évaporatoire dépendait plutôt de leur forme que de leur étendue. Il lui paraissait évident que si, avec une disposition spéciale de la surface de chauffe, on pouvait lui affecter une grande provision de chaleur, un système de chaudières semblables pourrait être adapté avec avantage aux voitures destinées à servir sur les routes ordinaires. Il avait trouvé que les surfaces métalliques abandonnaient la chaleur dans un rapport inverse de leur épaisseur, et que l'intensité de la chaleur produite par la combustion était en proportion de la quantité d'oxigène qu'on lui fournissait. Ces deux faits établissaient l'avantage qu'il y aurait à construire un générateur d'une surface de chauffe bien moindre que celle affectée jusqu'à présent aux chaudières. D'autres mécaniciens ont mis en usage des petits tubes dans lesquels passait l'eau qui devait être convertie en vapeur, en se ménageant toutefois une provision d'eau supérieure aux systèmes de tubes, et avec laquelle ils étaient en communication.

De pareilles dispositions sont défectueuses sous plusieurs rapports. Il arrive d'abord que l'eau quelquefois surchauffée dans les tubes en question, produit de la vapeur d'une plus

forte élasticité que celle qui est contenue dans la partie supérieure des appareils évaporatoires munis de pareils systèmes; que la vapeur ainsi produite chasse l'eau de ces capacités sans qu'un courant d'eau descendant puisse la remplacer. Il en résulte que les tubes s'échauffent avec excès, et se détruisent promptement en se brûlant.

On a essayé de remédier à de pareils inconvéniens en dirigeant l'alimentation au travers des tubes en question, mais alors il arrivait un inconvénient bien plus grave; l'eau alimentaire plus froide que la vapeur formée dans les tubes générateurs donnait lieu à une condensation brusque, et l'eau de la chaudière venait par secousse et même par chocs violens occuper l'intérieur des tubes pour en être refoulée de nouveau.

Il arrivait également dans les chaudières où des tubes semblables furent employés, que la capacité réservée à la vapeur, n'était pas suffisamment étendue, et qu'une certaine portion d'eau se dirigeait aux cylindres, avec la vapeur destinée au mouvement des pistons.

Cet accident produisait des secousses de



pistons tellement violentes qu'il fallut nécessairement y pourvoir. M. Gurney, ainsi que nous l'avons vu, quand nous avons donné la description de son appareil, eut l'idée d'y adapter un vaisseau particulier adjacent à sa chaudière, qu'il appelle séparateur, en raison des fonctions qu'il lui attribuait. Ce vase contenait de l'eau et était en communication directe avec les tubes bouilleurs; cette eau n'était chauffée que par suite du passage de la vapeur dans sa masse liquide; elle était donc d'une température un peu moins élevée que celle de la vapeur, et au moment où cette dernière se disposait à traverser la masse, cette même vapeur ainsi chargée d'eau l'abandonnait en passant au travers du liquide, et se dirigeait seule vers la machine.

Ce moyen, tout ingénieux qu'il était, ne laissait pas que de compliquer davantage un appareil, qui, par sa légèreté devait être cependant rendu applicable aux voitures locomotives.

Ces difficultés, particulières aux tubes bouilleurs, ont été aussi prévues par un Américain, Ewbanc; on verra comment à l'article où nous rendrons compte des expériences

faites par le comité de Francklin, sur les explosions des chaudières à vapeur; mais ce sont pas les seules affectées aux petits tubes bouilleurs dont nous nous occupons.

Il est extrêmement difficile d'empêcher les sédimens de s'accumuler dans l'intérieur de ces tubes, et leur petit diamètre rend difficultueux leur nettoyage; on a bien trouvé des palliatifs à ces graves inconvéniens, mais ces mêmes palliatifs ont encore une action destructive sur le métal même. Les moyens de nettoyage dont on a essayé, sont des ringards crochus quand les tubes ne sont pas coudés et sont assez larges dans leur canal intérieur; ou, dans les cas contraires, des solutions chimiques destinées à décomposer les sels ou les incrustations déposées.

Ces incrustations n'ont pas seulement l'inconvénient de produire un surchauffement des tubes dans l'endroit où ils se déposent, mais encore celui-ci, bien autrement grave d'être éminemment réfractaire, et de nuire considérablement à la production de vapeur. Quelquefois elles se détachent spontanément, laissent le métal surchauffé à déc[illegible]t le contact immédiat de l'eau

contre le métal rouge, donne lieu à des accidens qu'il est facile d'estimer.

M. Jacob Perkins, dont le nom se lie comme celui de M. Séguier, à toutes les expériences curieuses qui ont été faites sur la vapeur à haute pression, a employé un système de générateur d'une disposition toute particulière. Il consiste à chauffer à une très haute température, de l'eau dans un vase bouché. Ce vase est entièrement plein d'eau, et il n'y existe aucun espace réservé à la vapeur. Ce n'est que par l'introduction d'une petite portion d'eau, refoulée dans la capacité intérieure de son générateur, qu'une pareille portion d'eau surchauffée s'en échappe en soulevant une soupape convenablement disposée. Cette eau est immédiatement convertie en vapeur, qu'il utilise ensuite de diverses manières. Mais ce que nous connaissons de la chaleur, et de la manière dont elle se comporte dans les cas d'équilibre de température, nous démontre que tout appareil dans lequel on emploie une pression trop élevée ne saurait être avantageux ni économique.

Les générateurs et les chaudières tubulaires n'ont pas eu de succès, et cependant on en a essayé de bien des formes différentes.

nous en avons spécifié plus haut les principales causes; mais on a été plus heureux en retournant pour ainsi dire le problême, c'est-à-dire, en faisant passer la chaleur dans les petits tubes en question, au lieu d'y faire passer l'eau; ces petits tubes sont plongés dans l'eau de la chaudière, et, bien qu'aujourd'hui on ait éprouvé qu'il n'y a pas un très grand avantage à augmenter la surface de chauffe, en diminuant ces petits tubes en diamètre, pour en augmenter le nombre, cependant les voitures locomotives sur les chemins de fer n'ont reçu une solution que depuis que cette disposition a été adoptée; elle fut complette quand on eut donné suite à l'idée de faire passer la vapeur expulsée des cylindres dans les cheminées.



CHAPITRE VI.

DES FOURNEAUX.

Quand nous avons traité des chaudières, nous avons eu l'occasion de recommander d'employer à leur construction des matières dont le pouvoir conducteur du calorique ne fût pas à même de disperser sans fruit celui de la vapeur; la même attention doit présider à la construction des fourneaux, avec cette distinction essentielle que, quand les fourneaux sont en maçonnerie et adaptés à l'extérieur des chaudières, ils doivent être construits en briques réfractaires, tandis que quand ils sont disposés dans l'intérieur des masses liquides qu'ils sont destinés à chauffer, il convient au contraire de les fabriquer en matière qui possède un pouvoir conducteur très grand. Les qualités essentielles d'un bon fourneau sont 1° de bien concentrer la chaleur et de la diriger de la manière la plus convenable contre les vases sur lesquels elle doit agir; 2° d'empêcher la dissipation du calorique quand il a été produit.

3° d'obtenir la plus grande quantité de chaleur avec une somme donnée de combustible; 4° d'avoir les moyens de graduer la chaleur.

Dans la construction des fourneaux, des chaudières, toutes ces conditions doivent se combiner et s'ajouter pour augmenter l'efficacité du feu et pour en modérer à volonté l'activité. Mais sans quelques connaissances spéciales, il est difficile de ne pas s'égarer en pareille matière.

L'air est nécessaire à l'œuvre de la combustion, et cette dernière opération donne lieu à la production de substances gazeuzes qui s'échappent par la cheminée avec une certaine portion d'air échauffé. De ces substances, le gaz acide carbonique, produit par la combinaison de l'oxigène de l'air avec le carbone, forme la majeure partie.

Pour qu'une combustion marche bien, il est nécessaire que l'air trouve un libre accès sur toutes les parties du feu, afin qu'il soit convenablement échauffé, il en est de même du combustible, dont la température doit être suffisamment élevée, pour que tous ses élémens puissent se combiner avec l'oxigène de l'

Les avantages d'un feu alimenté avec régularité sont évidens. Si on place sur la grille une grande masse de combustible, beaucoup d'hydrogène s'échappe à l'état gazeux sans être brûlé et en emportant une portion considérable de chaleur; tandis que si ce même combustible est uniformément étendu de manière à former une surface qui présente des jours convenablement divisés, l'hydrogène s'échauffe, se consume et produit de l'eau qui, se mettant en contact avec les fragmens des charbons incandescens, produit de la vapeur dont la chaleur latente s'utilise contre les tubes conducteurs en métal ou les galeries qui dirigent la fumée et la flamme ou l'air échauffé à la cheminée. Quand l'hydrogène ou ses combinaisons passent au travers d'un feu lent et mou, il produit un effet plus nuisible que favorable, tandis que quand le feu est actif et bien nourri, que le charbon contient en abondance de l'hydrogène, ce gaz se consume avec beaucoup d'avantage.

La qualité de l'air destiné à alimenter la combustion est également à considérer, et on a remarqué qu'une légère humidité n'est pas toujours nuisible. Il est vrai qu'une trop grande quantité de vapeur aqueuse emporte

une certaine portion de calorique qui n'est pas toute utilisée; mais on a aussi observé que, quand le tirage est mou, un peu d'eau jetée à propos dans le cendrier, l'augmente par suite de sa conversion en vapeur, et de son mélange avec la fumée qui s'échauffe, devient transparente et beaucoup plus légère que l'air commun.

L'ouverture du fourneau qui donne l'admission à l'air, doit être suffisamment large pour produire la plus grande quantité possible de chaleur, mais elle ne doit pas l'être trop; les côtés doivent s'élargir à mesure qu'ils s'approchent du feu. Le jour à maintenir entre les barreaux des grilles, doit être évidemment plus grand que la surface entière de l'ouverture par où l'air est admis dans le fourneau.

Le feu doit être disposé immédiatement au-dessous de la chaudière qu'il doit échauffer, et son plus grand effet se produit contre ses fonds; la flamme et la fumée passent ensuite dans un carneau qui doit être large et bas: large afin d'étendre autant que possible son action, sur une plus grande surface du fond de la chaudière; bas, parce que, passant au travers avec une grande vitesse, on aug-

mente ainsi le frottement de la chaleur contre les surfaces.

En faisant, selon l'usage ordinaire, circuler la flamme autour des parois latérales des chaudières, la chaleur ne s'étend pas assez loin pour être utile pendant tout le tems de son trajet, et son action devenant oblique, l'effet produit s'amoindrit beaucoup. Les retours de flammes trop longs n'offrent pas non plus un avantage qui puisse compenser les difficultés de construction, et la diminution de tirage qui en résulte.

L'épaisseur du combustible sur les grilles doit être telle que le charbon frais puisse s'embraser, sans donner lieu en même tems à une diminution d'activité sensible sur la chaudière. M. Tredgold recommande que cette épaisseur soit trois ou quatre fois aussi grande que celle du charbon frais qui doit alimenter le fourneau: trois fois quand on alimente souvent, quatre dans le cas contraire; selon la nature du chauffage, on doit laisser un plus ou moins grand espace entre la grille et la chaudière.

Nous avons dit que, dans la construction des fourneaux, quand ils sont extérieurs, on doit avoir soin de n'employer autant que pos-

sible que des matières refractaires, ou mauvaises conductrices de calorique; la grille seule exige l'emploi de métaux; on peut même se passer de porte, pourvu qu'on bouche l'issue avec le charbon frais qui doit ensuite alimenter le fourneau. Le reste du fourneau est fabriqué en briques réfractaires. En vue d'emmagasiner la chaleur au-dessous de la chaudière, on peut laisser quelques cavités dans la maçonnerie. La forme la plus usitée et recommandée par Morveau serait un canal divisé en deux parties par une muraille. Enfin on doit autant que possible isoler le fourneau de tout contact de matière propre à conduire et disperser sans utilité le calorique. Entre la porte du fourneau et le commencement des grilles, on ménage un espace plein, destinée à contenir l'approvisionnement de charbon qui doit être jeté plus tard sur le feu. Par son voisinage de ce même feu, il s'échauffe et abandonne l'excès de gaz qu'il contient et qui va se réchauffer ou même s'enflammer en passant au-dessus de la masse en combustion.

Les barres des grilles ont ordinairement une hauteur de 1,5 à 3 pouces sur une épaisseur variable de 0,75 à 1,2 pouces. Leur lon-

gueur est d'environ trois pieds, et quand l'étendue du fourneau en requiert davantage, une traverse de fer sert à appuyer un second rang de barres semblables, qui se correspondent alors bout à bout. L'espace laissé vide entre chaque barre est de $\frac{3}{8}$ à $\frac{1}{2}$ pouce. La surface entière de la grille doit avoir environ un huitième de la surface du fond de la chaudière. Chaque pied carré de la grille peut suffire à la combustion de 5 kilogrammes de charbon par heure. La même grille peut fournir un feu lent ou actif, mais pour un feu lent l'épaisseur du charbon doit être plus grande; elle peut aussi s'adapter à tout autre combustible, cependant on doit toujours prendre pour règle que la surface qui peut produire un égale quantité de vapeur est inversement proportionnelle à la puissance du combustible. Un registre placé devant le cendrier sert à modifier la quantité d'air envoyée à la grille, et ses fonctions sont rendues faciles au moyen d'un contre-poids. La porte du fourneau doit s'appliquer avec exactitude sur son ouverture, de manière à la bien boucher. Cette porte étant exposée à l'action d'un feu violent, est susceptible de s'endommager avec facilité; mais on y a pourvu en lui adaptant à l'in-

térieur et à quelques pouces de distance, une surface métallique qui laisse un espace vide entre le feu et cette même porte. Le système de portes à coulisse et à contrepoids présente beaucoup d'avantages, en ce qu'il permet de n'ouvrir que partiellement ou d'une manière graduée le fourneau.

L'invention du procédé par suite duquel on parvient à consommer entièrement la fumée est généralement attribué, en Angleterre, à James Watt; cependant il résulte des mémoires de l'Académie des Sciences de Paris, 1699, que M. *De la Haye* fit plusieurs essais heureux d'un moyen proposé par un ingénieur français, M. *Delasmes*, et qui tendait au même but. Ce dernier exposa son fourneau fumivore à la foire de St.-Germain en 1685. Il consistait en un long tube en forme de syphon renversé, dont la plus longue branche était destinée à servir de cheminée, tandis que la plus courte recevait le fourneau. Le combustible était placé sur une grille adaptée à l'ouverture de la plus courte des deux branches, et il était alimenté par là. Aussitôt après l'ignition du combustible, la chaleur se communiquait au tube plus long qui servait de cheminée, et par ce moyen, un courant d'air se



produisait au travers du combustible et ensuite de la grille ; il en résultait la combustion complette de la fumée (1).

La fig. 33 donne une idée du procédé employé par Watt pour obtenir la combustion de la fumée. Il plaçait d'abord le charbon frais sur une grille ordinaire, *a*; ensuite, un peu à côté ou dans le courant de flamme voisin, il disposait une autre petite grille *b*, sur laquelle il maintenait un feu de charbon de bois, de cooke ou de houille qui avait été préalablement dépouillée de fumée par la combustion, et qui par sa chaleur intense et par l'admission d'une certaine quantité d'air frais, consumait la fumée du premier feu.

M. Thompson prit une patente en 1796, pour un fourneau construit dans le même but. Il différait des constructions ordinaires en ce que les grilles étaient plus longues que d'habitude d'environ un tiers, et qu'aux deux tiers de leur longueur, à partir de la porte du fourneau, il installait une espèce d'arceau

(1) Dans les dispositions ordinaires de fourneaux, l'air passe d'abord au travers de la grille, et ensuite au travers du charbon frais ; il est brûlé avant d'arriver à ce dernier.

très bas au-dessous duquel la fumée passait pour arriver à la seconde portion de la grille; elle était ainsi mise en contact avec un feu très intense, et consumée en grande partie avant d'arriver à la cheminée.

La fig. 34 représente le moyen employé par M. Gregson pour consumer la fumée. Le fourneau G et sa porte F, n'ont rien qui s'écarte des formes habituelles; la fumée passe au-dessous de la cloison D, dans une ouverture resserrée qui donne lieu à une accumulation de chaleur. En outre une ouverture *c*, donne issue ~~à une certaine~~ quantité d'air qui se dirige sur le courant de la fumée, et ces deux effets réunis produisent sa combustion. Le conduit Z, adjacent à la cheminée, envoie l'air nécessaire à la combustion de la fumée dans le sens indiqué par les flêches. Il est remarquable que le procédé de M. Gregson peut être considérablement bonifié, en construisant en métal la cloison qui sépare les deux tubes Z et A, qui servent à l'introduction de l'air et à l'expulsion de la fumée ou des gaz, au lieu de les fabriquer en briques (1). Une économie de combustible



(1) On vient de construire tout récemment un ... l'introduction de l'air et l'expulsion

ne peut que résulter de l'échange de température entre les courans opposés. On peut, dans ce dernier cas, faire abstraction de la perte de calorique et de tirage qui résultera du pouvoir conducteur des métaux employés. La colonne ascendante aura toujours une température suffisante pour fournir au tirage (1).

Une autre installation consiste à placer la grille aussi près que possible au-dessous du milieu de la chaudière, et d'avoir les ouvertures destinées à l'échappement de l'air dilaté et de la fumée au-dessus de la porte qui sert à l'introduction du combustible dans le fourneau, de telle façon que l'air et les gaz échauffés, par leur force expansive et leur pesanteur spécifique amoindrie, contrarient incessamment la pénétration de l'air froid atmosphérique au-dessous du fond de la chaudière, de telle fa-

des gaz échauffés s'opèrent par la cheminée même, qui est très large, et qui n'est point munie de cloisons. Mais il est nécessaire que la température du fourneau soit préalablement très élevée avant que l'effet se produise. On a aussi essayé de placer deux cheminées l'une dans l'autre. Le tube concentrique servait au tirage, et l'espace annulaire à l'expulsion de la fumée et des gaz.

(1) Un tirage trop actif n'est pas toujours avantageux. Mais il est facile de le modérer par un registre.

çon aussi que l'air froid admis par la porte qui sert également à l'introduction du charbon ne puisse dans son passage à la cheminée, se mêler avec l'air échauffé ou les gaz, jusqu'à ce que ces derniers aient cessé d'agir sur les parties convenables de la chaudière. Une plaque de fonte s'étend au-dessus du feu, à partir de l'origine de la grille, derrière la porte du fourneau, sépare le feu du conduit aspirateur de l'air, et pourvoit à ce qu'aucune autre portion d'air passant dans le fourneau, ne pénètre au travers du combustible enflammé. Une autre particularité attachée aux systèmes de M. Losh, à qui est dû celui que nous venons de décrire, consiste à employer deux feux que nous désignerons par A et B, avec un mur intermédiaire qui supporte le milieu de la chaudière; chacun de ces feux a son tube de conduit qui se termine à la cheminée, et ils communiquent l'un à l'autre par une arcade pratiquée à la muraille intermédiaire. Chaque feu est alternativement alimenté de combustible, et l'arrangement du registre est tel, que le gaz provenant du feu nouveau en A est sollicité à descendre pour passer sous l'arceau et ensuite au travers de la seconde grille du feu B, où la fumée est consumée.

Les deux courans d'air échauffé se réunissent alors dans un tube qui les conduit à la cheminée. Quand le feu en A est entièrement incandescent, on renouvelle celui en B, les registres sont alors convenablement tournés pour déterminer le courant vers la cheminée. Le gaz du feu nouveau en B descend au-dessous de l'arceau sus-mentionné, passe au travers de la grille en A et y étant enflammé, est ensuite conduit vers la cheminée. Par cette méthode d'opérer alternativement, il n'y a point d'interruption par suite de l'alimentation du combustible.

On a aussi construit des grilles circulaires qui s'alimentent d'elles-mêmes au moyen d'une trémie adjacente. La grille était animée d'un mouvement de rotation très lent, et la trémie à charbon était munie intérieurement d'un rouleau en fer également animé d'un mouvement circulaire; ces deux mouvemens étaient obtenus plus ou moins rapides selon le besoin, par des moyens ordinaires d'engrenages dépendans de la machine à vapeur. Le rouleau de fer placé dans la trémie était muni d'une denture particulière, afin que dans son mouvement, les fragmens trop gros de charbon puissent être brisés et réduits à la di-

mension la plus convenable pour produire une bonne combustion, il servait en outre à graduer la quantité qui devait tomber sur la grille par le tube de communication. Le mouvement de la grille circulaire était également gradué, de telle sorte qu'à chacune de ses révolutions, le charbon correspondant sur la grille à l'ouverture du tube de la trémie, fût déjà convenablement incandescent. On est parvenu ainsi à obtenir sur la grille une répartition de charbon très uniforme; chaque partie du combustible reçoit à chaque instant la même quantité d'air et de chaleur, les courans d'air se maintiennent constamment dans la même direction, et la consommation de charbon est amoindrie. On évite aussi l'inconvénient grave d'ouvrir incessamment les portes des fourneaux pour les alimenter de combustible, et l'air frais n'a plus la faculté de s'introduire, comme, dans les autres procédés, au-dessus du feu, et d'aller rafraîchir à contre-tems les surfaces de chauffe. En outre l'introduction du combustible est entièrement gouvernée par la machine à vapeur, de telle façon qu'on peut en graduer la quantité p[illegible]il à produire; l'appareil est tout-[illegible]dant des soins des chauffeurs.

En observant les fonctions des cheminées, on a dû remarquer sans doute, que la fumée ne se produit d'une manière très apparente qu'à l'époque où on charge de nouveau les fourneaux, et qu'elle est encore visible quelques minutes après cette opération. Ensuite l'air trouvant un libre passage au travers du combustible, la fumée finit par disparaître presqu'entièrement. M. Muray a imaginé un procédé ingénieux pour alimenter d'air les fourneaux, pendant l'opération de leur rechargement. Il consiste à adapter à l'extrémité d'un large tube correspondant à la partie supérieure du combustible enflammé, une légère roue à vanne destinée à y envoyer la quantité d'air nécessaire pour la combustion de la fumée. Cette vanne est mise en mouvement par le courant d'air qui se produit, et par suite de l'ouverture même de la porte. Tout le mécanisme s'arrête quand, après avoir rechargé le fourneau, on referme sa porte. M. Muray estime que la quantité d'air nécessaire à la combustion de la fumée, doit être, par puissance de cheval, égale à celle qui serait susceptible de s'écouler par une ouverture de quatre pouces carrés.

Beaucoup d'essais ont été faits pour obtenir la combustion de la fumée, et presque tous les constructeurs ont pensé que l'introduction d'une certaine quantité d'air au-dessus de la houille en combustion, était capable d'en opérer la réduction. Voici leurs raisonnemens à cet égard.

Quand on recharge un fourneau, la houille fraîche jetée sur le charbon incandescent, bouche la plus grande partie des interstices qui sont indispensables au passage de l'air. En second lieu, le charbon s'échauffe d'abord sans se brûler, et il se distille en partie de la même manière que dans des vases clos. Une grande portion du gaz hydrogène qui en résulte, passe ainsi à la cheminée sans avoir pu se combiner avec une quantité suffisante d'oxigène, et ce gaz entraîne avec lui sans les brûler, les particules de charbon infiniment divisées qui constituent la fumée; tandis que si on ajoute dans ce moment une certaine quantité d'air et par conséquent d'oxigène à cette portion d'hydrogène qui s'échappe par dessus le combustible frais, il en résultera deux circonstances favorables à la disparition de la fumée; d'abord l'inflam-



mation du gaz hydrogène qui brûlera les particules de charbon divisées dont nous avons parlé plus haut, et ensuite la formation d'une certaine quantité d'eau ou de vapeur, qui a la propriété de condenser la fumée, ou de la rendre transparente. Le tirage n'en est pas pour cela affaibli, car on verra plus tard que par un procédé à peu près semblable, on est parvenu à obtenir un très grand tirage dans les machines à vapeur locomotives.

Voici encore plusieurs procédés essayés pour obtenir de pareils résultats.

On a fixé, dans une partie contiguë du fourneau un petit cylindre muni d'un piston destiné à circuler de haut en bas dans sa capacité intérieure. Une chaîne fut attachée à l'extrémité supérieure de la tige du piston, elle passait ensuite sur une poulie et allait s'attacher à la porte du fourneau. Par suite d'une pareille disposition, quand la porte du fourneau était ouverte, le piston abandonné à son propre poids s'abaissait; il s'élevait dans le cas contraire. Un tube adapté aux extrémités du cylindre mettait en communication le haut et le bas de cette capacité. Un autre tube d'embranchement était adapté au milieu du premier, et ce tube était muni d'une

soupape qui, ouverte d'une certaine quantité, ne permettait à l'air refoulé par le piston de s'écouler que lentement et d'une manière graduée au-dessus du combustible. Le piston même ne pouvait descendre qu'avec une vitesse proportionnée à la dépense d'air. Cette invention est due à M. William Pritchard.

Un autre procédé appartenant à M. Stanley et que nous avons vu fonctionner avec succès, consiste à adapter sur le front du fourneau une caisse en tôle capable de contenir une provision de charbon réduit en petits morceaux, pour une heure environ. Ce charbon passe au travers d'une ouverture pratiquée au fond de la caisse, et tombe entre deux rouleaux en fer à rainures, qui tournant dans un sens opposé, réduisent les trop gros fragmens à une dimension convenable. Après cela, le charbon est rejeté sur la grille du fourneau au moyen d'une roue à van qui, dans son mouvement de révolution, entraîne avec elle une quantité suffisante d'air atmosphérique. Par suite de cette disposition, le charbon se disperse uniformément sur la grille, et la fu[illegible] se trouve consumée au moyen de [illegible] st introduit en même tems que le

Le dernier procédé que nous ayons à décrire, est une invention de M. Chapman. Les barres des grilles de son fourneau sont creuses, et elles se débouchent dans deux boîtes disposées à chaque extrémité de la grille. La boîte de devant est munie d'un registre destiné à s'ouvrir plus ou moins, à volonté. L'autre boîte ou plutôt l'autre extrémité de la grille se débouche derrière la cloison du fourneau, celle qui est percutée par la flamme. Entre cette cloison et la maçonnerie, un intervalle d'environ un pouce a été ménagé, pour que l'air puisse passer entre deux. Il est évident que par suite de cette disposition, quand on ouvrira le registre de la face avant de la grille, l'air passera au travers des barres de grilles creuses, se dirigera ensuite derrière la cloison du fourneau, pour rencontrer ensuite la flamme et la fumée à son passage au-dessus de cette même cloison. Pour que l'effet soit plus grand, l'auteur fait percuter l'air à sa sortie de derrière la cloison, contre un plan incliné de la maçonnerie contiguë, et qui forme l'intervalle dont nous avons parlé plus haut. Le courant d'air s'établit ainsi contrairement à la direction de celui de la fumée, et celle-ci se trouve dans

les circonstances favorables pour être consumée. Pour recharger le fourneau, voici le moyen qu'emploie M. Chapman.

Fig. 35. Cette figure représente une section du fourneau et de la chaudière. La fig. 36 donne une idée de la disposition des barres de grilles creuses qui se débouchent dans la boîte *i*. *a*, est la chaudière; *b*, le fourneau; *c*, la caisse à charbon avec son couvercle *d*; *e*, est un contre-poids adapté à une valve à bascule, par le moyen duquel on obtient l'écoulement du charbon dans le fourneau. *f*, est un ringard qui sert à repousser le charbon incandescent sur le derrière de la grille quand il est question de recharger le fourneau. En *g*, il y a un trou ou regard par où on examine l'état du feu. *i i*, est la boîte dans laquelle se débouche l'extrémité antérieure des barreaux creux de la grille. Sur son front est le registre dont nous avons parlé plus haut et qui règle l'admission de l'air. *k* est une des barres de la grille dont on voit l'assemblage et la disposition dans la fig. 36. *l*, est l'intervalle mince dont nous avons également parlé, où passe avant d'aller rencontrer la fumée, l'air qui a été aspiré par la boîte *i*. C[illegible]ion nous paraît la plus avanta-

geuse de celles que nous avons décrites, quoiqu'on prétende que les barreaux des grilles soient plus durables que solides, l'avantage qui résulte de ce que l'air s'échauffe par son passage au travers des grilles, nous paraît d'une haute importance.

Enfin, un autre mécanicien anglais a modifié l'idée principale de l'appareil que nous venons de décrire, en faisant passer l'air entre des plaques de métal disposées sur les flancs du fourneau, au lieu de lui faire parcourir l'intérieur même des barres creuses. Cet air s'échauffe ainsi avant d'arriver au contact de la fumée.

CHAPITRE VII.

DES CHAUDIÈRES DE VOITURES LOCOMOTIVES.

Pour ne pas donner aux voitures locomotives des cheminées trop longues, on eut d'abord l'idée d'appliquer des machines soufflantes aux fourneaux, et parmi les essais en ce genre qui eurent quelques succès, on peut mettre en première ligne ceux de M. Seguin de Lyon, de G. Stephenson de Newcastle et MM. Braitwait et Éricson. On sait que la question des voitures locomotives n'a été résolue que depuis l'époque où on est parvenu à procurer aux fourneaux de ces voitures un tirage suffisant et par conséquent la faculté de produire avec de petites chaudières et de petites cheminées, la somme de vapeur requise pour le service des voitures. Il est presqu'impossible de parler des voitures locomotives sans faire mention du chemin de fer de Manchester à Liverpool (1).

[illegible]oir le Manuel du constructeur de chemins de [illegible]it partie de la collection encyclopédique de [illegible].

La chaudière des machines locomotives, dit M. Ed. Biot, se compose d'un cylindre en tôle, voyez les fig. 78 et 79, en tôle ou en cuivre, traversé dans sa moitié inférieure par un grand nombre de petits tuyaux en cuivre, et fermé de deux pièces circulaires à ses deux extrémités. Ce cylindre, qui forme le corps de la chaudière, a généralement 30 pouces de diamètre, et 6 à 7 pieds de long. Il dure beaucoup plus de tems quand il peut être fait en cuivre. Cependant, les chaudières anglaises sont encore en tôle. Les petits tuyaux se fabriquaient d'abord en cuivre rouge, mais des expériences récentes, faites sur le chemin de Liverpool, ont prouvé que le cuivre jaune, qui est, comme on sait, un alliage de zinc et de cuivre, résistait beaucoup mieux à l'action de la flamme du coke employé comme combustible.

Le nombre et la dimension des petits tuyaux a beaucoup varié. En France, on s'est borné à établir dans chaque chaudière 80 tuyaux de 18 lignes (40 millimètres) de diamètre, ce qui donne une surface de chauffe totale de 21 mètres carrés. En Angleterre, on a été jusqu'à 140 tuyaux par chaudière, en réduisant leur diamètre à un pouce environ (28

millimètres). On avait ainsi une surface de chauffe de 26 mètres carrés. Cette diminution du diamètre des tuyaux n'est pas sans inconvéniens, parce qu'ils se remplissent assez promptement de suie, qu'y dépose la flamme trop génée dans la circulation (1); alors l'avantage de leur grand nombre se trouve fortement diminué. Aussi, commence-t-on, en Angleterre, à limiter le nombre et la dimension des tuyaux : aujourd'hui, les machines ordinaires ont 100 à 110 tuyaux de 15 à 16 lignes (36 millimètres) de diamètre : ce qui représente une surface de chauffe de 26 mètres carrés.

Une chaudière ainsi construite peut produire au moins 600 à 700 kilogrammes de vapeur à l'heure, avec une bonne combustion dans le foyer.

Chaque tuyau de cuivre se fixe au moyen d'une bague en acier, évasée d'un côté seulement, et qui entre de force dans l'ouverture pratiquée dans les deux fonds circulaires de la chaudière. Quelquefois on s'est contenté de

(1) Dans plusieurs voitures locomotives, et même sur des bateaux à vapeur de la Saône, on a avanta- [illegible] ifié ces dispositions en plaçant les [illegible] ement.

river les deux extrémités de ces tuyaux sur les fonds circulaires. La bague en acier a pour effet de doubler la force de la plaque sûr ce point, et de rendre l'assemblage plus solide. On conçoit que cet assemblage est, en effet, d'une haute importance, pour que la chaudière puisse tenir l'eau et la vapeur sans perte, malgré la haute pression à laquelle on agit.

Les tuyaux se nettoient, soit avec une brosse emmanchée sur une tige de fer, soit avec une espèce de ringard recourbé. Cette opération doit se faire chaque fois qu'on arrête la machine.

Le foyer est disposé à l'arrière de la chaudière, et forme une espèce de coffre carré en tôle, indépendant de la chaudière, à laquelle il est réuni seulement avec des boulons. En desserrant ces boulons, le coffre se trouve libre et peut se séparer facilement.

Ce mode d'assemblage est très utile dans la pratique; car le foyer est la partie de la machine qui se détériore le plus promptement par l'action énergique de la flamme, et s'il ne pouvait pas se remplacer facilement par un autre, la machine serait exposée à rester très long-tems et très fréquemment en réparation

Pour préserver de la flamme les compartimens latéraux qui composent le coffre du foyer, on a soin de les doubler, et dans l'intervalle on fait circuler l'eau qui s'échauffe et passe de là dans la chaudière. La chaudière ne reçoit ainsi que de l'eau déjà échauffée, ce qui lui permet de produire une quantité de vapeur bien plus considérable que si elle était alimentée uniquement avec de l'eau froide.

Les barreaux des foyers sont quelquefois creux ; et reçoivent un courant d'eau destiné à les empêcher de brûler ; mais ces barreaux creux coûtent assez cher : aussi, généralement on préfère employer des barreaux pleins, et on les remplace à mesure qu'ils s'usent.

Cette réparation des barreaux est assez coûteuse. Les ingénieurs du chemin de Manchester comptent qu'il faut changer les barreaux trois fois par an. D'autres donnent pour règle, qu'il faut changer tous les barreaux après que la machine a parcouru 10000 kilomètres.

Les foyers à coke ont généralement $0^{m},28$ de profondeur, sur $0^{m},81$ de large. Ceux à charbon sont un peu plus petits.

Le foyer est arrêté contre le fond de la ch[illegible] manière à augmenter sa capa-

cité; mais ce mode d'assemblage a un défaut très grave : la flamme qui s'élève du foyer se trouve frapper directement contre le joint du cylindre qui forme la chaudière et au fond circulaire, et si la chaudière et ce fond sont en tôle, la partie frappée par la flamme brûle très rapidement. Il est vrai qu'on peut mettre sur ce point, une doublure en cuivre, ce métal résistant mieux au feu que la tôle.

On a construit des foyers en cuivre et en tôle; ceux en cuivre coûtent beaucoup plus cher, mais ils durent plus long-tems, et pour eux, comme pour la chaudière, on tire toujours un parti bien plus avantageux du vieux cuivre que de la tôle à demi-rongée, telle quelle se trouve après deux ans de service sous l'action d'un feu extrêmement violent.

L'eau nécessaire à l'alimentation de la chaudière, est portée dans une caisse en tôle, posée sur un petit chariot joint à la machine. De là, elle sort par un tuyau de cuir dont l'ouverture est réglée par un robinet. Ce tuyau communique à une petite pompe alimentaire mise en action par la machine, et servant à introduire l'eau dans le coffre du foyer et dans la chaudière; mais comme chaque quantité pondérable de vapeur qui entre

dans le cylindre doit-être remplacée dans la chaudière par un poids d'eau correspondant, la caisse se vide après un certain nombre de coups de pistons. Pour la remplir de nouveau, on établit, de distance en distance, le long de la ligne, des réservoirs en bois ou en tôle, placés à une dizaine de pieds de hauteur, et à l'aide d'une pompe, un homme a soin de les tenir pleins d'eau. Quand la machine arrive auprès de ces réservoirs; elle s'arrête, et au moyen d'un robinet de fond joint au réservoir, et d'un tuyau mobile de communication, l'eau coule dans la caisse du chariot fourgon qui suit la machine.

Cette eau est généralement froide au sortir du réservoir. Elle s'échauffe, comme nous l'avons dit, en arrivant, soit dans les compartimens du foyer, soit dans les espèces de supports creux en fonte disposés au fond du foyer et qui soutiennent la chaudière. C'est du moins ainsi que l'on opère en France. Au chemin de Liverpool, comme on désirait réduire extrêmement le poids des machines pour les rendre propres à de très grandes vitesses, on chauffe l'eau dans les réservoirs mêmes, où [illegible]pée, et de cette manière, elle [illegible] température de 40 ou 50

degrés quand elle sort des réservoirs fixes, pour passer dans le réservoir de la machine Ce chauffage s'opère par la vapeur, l'excédant de la vapeur non condensée servant à mouvoir une machine qui pompe l'eau. A Darlington, l'eau est pompée par un moulin-à-vent qui s'oriente lui-même, et n'exige qu'une simple surveillance de la part d'un gardien, préposé en même tems au passage des chariots, qui s'arrêtent sur ce point.

Toutes les chaudières des machines locomotives doivent être pourvues d'un petit tube en verre, d'un centimètre de diamètre, situé à l'extrémité, et servant à indiquer le niveau de de l'eau dans la chaudière; ce tube doit être observé avec un grand soin par les machinistes; car si le niveau d'eau baisse trop par suite d'un engorgement dans le jeu de la pompe alimentaire, ou parce que le robinet du réservoir n'est pas assez ouvert, la flamme frappera sur des parties de la chaudière privées d'eau et les brûlera de suite.

On place sur la chaudière deux soupapes de sûreté à bras de levier, qu'on charge d'un poids correspondant à une pression de trois atmosphères environ, ou de 3 kilogrammes par centimètres carrés sur l'ouverture de la

soupape. Il se présente à ce sujet un phénomène assez singulier. Quand la machine est en marche, alors même qu'elle est supportée sur des ressorts, chaque secousse fait balotter le levier et soulève la soupape de sûreté, de sorte que la pression est intermittente, et que la vapeur s'échappe rapidement. Cet inconvénient est si sensible, qu'au chemin de fer situé aux environs de Newcastle, on avait l'habitude de fixer pendant la marche le bras du levier de la soupape, au moyen d'une pièce mobile en fer, qu'on détournait lorsque la machine s'arrêtait, de manière à rendre la soupape libre. Car c'est dans ce cas surtout qu'on doit craindre les accumulations de vapeur, et les accidens qui en sont la suite. En marche, la vapeur est dépensée à mesure qu'elle est produite, et il y a peu de danger si la chaudière a toujours une quantité d'eau suffisante. Mais il résultait de cette invention, que la machine en marche était tout-à-fait privée de soupape de sûreté, et cette habitude hasardeuse ne pouvait être conservée au chemin de fer de Liverpool, destiné à un si grand transport de voyageurs. Aussi, sur ce chemin, on a remplacé le poids des soupapes de sûreté par un ressort placé à l'extrémité



du bras de levier, et exerçant une pression équivalente : alors la soupape ne se soulève pas par les secousses des mouvemens de la machine. Cependant on peut craindre avec quelque raison qu'un ressort ne soit sujet à se raidir plus ou moins, et l'on n'a pas ainsi une mesure bien exacte de la pression exercée dans la chaudière. En France on a imaginé un moyen qui présente plus de sécurité. Il consiste à interposer entre le bras du levier et la petite plaque qui porte sur l'entrée de la soupape, un double ressort qui amortit tout l'effet des oscillations du poids placé à l'extrémité du levier. De cette manière la soupape est toujours libre de ses mouvemens quand la machine est en marche, aussi bien que lorsqu'elle est en repos.

Dans le principe, les cheminées des machines employées à Darlington et sur les chemins de fer des environs de Newcastle, n'avaient au plus que 10 pieds de long. Elles ne procuraient qu'un tirage bien insuffisant pour un foyer aussi petit que celui des machines, puisque la vitesse ascensionnelle correspondant à une semblable hauteur, ne va guère à plus de quatre mètres par secondes; ainsi la quantité d'air fourni pour une section de foyer

de 2 pieds carrés environ, devait aller au plus à un mètre cube par seconde. Cependant, le moindre ralentissement dans la combustion diminue presqu'instantanément d'un tiers ou de moitié la force des machines locomotives; car la partie supérieure de la chaudière, qui reste vide, ne peut contenir qu'une quantité de vapeur assez limitée, dont une partie est absorbée à chaque coup de piston des cylindres. Si donc cette quantité de vapeur n'est pas renouvelée incessamment à l'aide d'une combustion très active, la machine se trouve arrêtée au bout de quelques minutes.

Élever ces cheminées davantage, présentait de grandes difficultés; car cette surélévation, pour être utile, devait aller à une dizaine de pieds de plus, et pour cela, il eût fallu s'astreindre à relever de beaucoup tous les ponts et passages souterrains placés sur la ligne des chemins de fer, travail souvent impraticable; ou bien il aurait fallu tourner les cheminées autour d'une charnière comme dans les bateaux à vapeur. D'un autre côté, une cheminée semblable aurait acquis facilement dans sa marche, un mouvement d'oscillation qui eût [illegible] toutes les parties de la machine; et [illegible] se voit même auprès de *Leeds*,

sur un chemin de fer assez court, qui est desservi par une machine à vapeur, armée d'un tuyau de plus de 20 pieds de haut.

Pour remédier à cette imperfection du tirage, M. G. Stephenson a imaginé de jeter dans la cheminée la vapeur qui sort du cylindre après y avoir exercé son effet, et de profiter de sa vitesse pour exciter dans la cheminée un courant rapide qui peut activer la combustion. Cette invention réussit parfaitement; seulement, pour que le jet de vapeur produise tout son effet, il faut que le coffre inférieur de la cheminée où il est lancé, soit imperméable à l'air extérieur, de manière que le jet fasse le vide exactement derrière lui; de plus, il est avantageux de lancer le jet aussi directement que possible dans le sens de l'axe du tuyau de la cheminée. Cette deuxième remarque fit placer les cylindres immédiatement sous la cheminée, de manière que le jet fût toujours direct, sans être retardé par aucun frottement dans les tuyaux de sortie, frottement qui a lieu plus ou moins sensiblement quand les cylindres sont placés latéralement à la chaudière. Ensuite on eut soin d'augmenter le diamètre des tuyaux de sortie, et de les réunir dans la cheminée en un

seul tuyau dirigé verticalement et terminé en haut par un orifice en forme de cône tronqué, comme un tuyau d'anche. Il paraît que cet étranglement du tuyau de sortie augmente sensiblement le résultat produit, le jet de vapeur se trouvant dans la même situation que l'air qui sort d'un soufflet d'appartement. Les tuyaux de sortie ont généralement un décimètre ou quatre pouces anglais de diamètre, ainsi que ceux d'admission.

Lorsque la machine fonctionne, la vapeur sortant des cylindres rencontre, dans la cheminée, un courant d'air chaud sortant du foyer, et déjà animé d'une vitesse ascensionnelle; elle le pousse devant elle par sa vitesse supérieure, et produisant le vide derrière, elle excite un courant violent d'air qui se précipite dans le foyer. Ce courant d'air anime la combustion, et une plus grande quantité de vapeur se produit dans la chaudière. L'introduction de cette nouvelle vapeur dans les cylindres, accélère la marche de la machine, et sa sortie accélère le courant qui alimente la combustion; d'où l'on voit qu'une machine en mouvement, alimentée constamment de combustible [illegible] eau, tend continuellement à s'accé- [illegible] elle se meut toujours sur une ligne

droite d'une pente uniforme, de manière que sa vitesse acquise ne soit pas épuisée par le frottement des courbes, ou par la portion de poids qui se trouve décomposée si la pente augmente. D'un autre côté, l'on voit que si la machine se meut lentement, les jets de vapeur dans la cheminée seront intermittens, et ne pourront conséquemment y exciter un courant contraire. L'introduction d'air dans le foyer ne sera donc pas rapide, la production de vapeur sera faible, et la machine s'arrêtera dès qu'elle aura dépensé la quantité de vapeur accumulée dans la chaudière au moment du départ. De là resulte, 1° qu'il faut calculer le poids que doit traîner la machine, de manière qu'elle puisse marcher avec une vitesse suffisante; 2° qu'il est avantageux d'avoir des cylindres larges et courts; car alors les jets de vapeur dans la cheminée sont plus fréquens, puisqu'ils correspondent à chaque pulsation du piston.

Pour mettre la machine en action, on commence par chauffer la chaudière avec du charbon mêlé de bois, de manière à exciter un feu vif qui amène la température de l'eau au-dessus de 100 degrés, et produise assez de vapeur pour que la machine puisse traîner son propre poids. Dès que le machiniste est arrivé

à ce point, il fait partir la machine et la promène seule. La vapeur entre dans les cylindres, en sort, et excite peu à peu un courant d'air rapide dans la cheminée. On jette du coke dans le foyer; il s'allume, et la température s'élève dans la chaudière. La vapeur est produite en plus grande quantité et à une plus haute pression. Elle produit donc un effet plus énergique, et la machine s'accélère. Peu à peu l'eau parvient à 150° et à 160°, et la chaudière se trouve remplie d'une quantité suffisante de vapeur à la pression demandée. Alors la soupape se souleve, et la machine vient chercher son convoi. On remplit d'eau son réservoir, si elle en a trop perdu pendant cet essai préparatoire, et la machine est prête à partir. Il faut ordinairement chauffer la chaudière pendant une heure ou une heure et demie, pour que la température s'élève suffisamment, et que la vapeur arrive à 4 atmosphères.

On a employé sur le chemin de fer de St.-Étienne à Lyon, une autre méthode de ventilation qu'il peut être utile de décrire, quoiqu'elle soit généralement remplacée aujourd'hui [illegible] l'injection de la vapeur dans la che- [illegible] moyen consistait à placer, sur le

fourgon attaché à la suite de la machine, un ventilateur mis en action par des courroies passant sur une grande poulie fixée à une roue du fourgon. Ce ventilateur eût pu être un cylindre soufflant, mais on avait trouvé plus simple d'adopter des ailes semblables à celles du moulin à vanner le blé. Sur chaque côté du fourgon on avait établi une caisse oblongue en planches, dans laquelle tournait une roue à quatre palettes qui aspiraient l'air par le centre de la caisse, et le refoulaient dans un conduit de cuir qui partait du ventilateur et aboutissait au-dessous du foyer: cette disposition présentait l'inconvénient d'exiger une certaine quantité de force motrice. De plus les conduits en cuir et les courroies exigeaient un entretien assez coûteux.

Cette machine locomotive ayant produit des résultats très avantageux, nous croyons devoir la reproduire dans cet ouvrage. Elle est de MM. Séguin et compagnie.

La machine à vapeur est fixée à la première voiture, et le ventilateur sur la deuxième. Sur cette seconde voiture (fig. 37) se trouvent également le réservoir à eau et à charbon B et C, et à leur suite vient le convoi.

La fig. 38 donne une section transversale,

et la fig. 39 une section longitudinale de la chaudière et du foyer suivant *xx*. La chaudière A est un cylindre de tôle de deux pieds et demi de diamètre sur 9 de long. La grille a 4 pieds de longueur. *b* et *c* sont des compartimens en tôle qui enveloppent le foyer par côtés et par derrière; ils sont pleins d'eau et communiquent avec la chaudière. 43 galeries ou tuyaux tels que *e*, *e*, *e*, traversent la chaudière. La flamme s'élève de la grille, et frappe d'abord le fond de la chaudière en passant au-dessus du réservoir *d*; elle traverse ensuite les galeries ou tuyaux, et arrive à la cheminée *f*. Les tuyaux ont 1 $\frac{1}{2}$ pouces de diamètre.

g, est la porte du foyer; *h*, celle du cendrier. De chaque côté de la porte *h*, il y a une ouverture à laquelle s'adapte un des tubes correspondans du ventilateur.

Le ventilateur, fig. 37, se compose de deux caisses circulaires de 5 pieds de diamètre, dans lesquelles tourne avec rapidité une roue à quatre palettes *k*. Cette roue reçoit son mouvement de la poulie *i*, fixée à son axe, qui elle-même le reçoit au moyen d'une courroie de la poul[illegible] fixée à un des essieux de la voi-t[illegible]té un registre en *n*, afin de

pouvoir régulariser l'introduction de l'air, et l'appareil ventilateur se lie aux ouvertures du foyer mentionnées plus haut, au moyen du tube en cuir *o*.

La chaudière produit de la vapeur à quatre atmosphères de pression, et ce qui est réellement remarquable, 7 livres de vapeur par chaque livre de houille consommée. Ce résultat n'a été obtenu, dit-on, par aucune autre machine locomotive.

La chaudière présente à peine le tiers de sa surface, 3 mètres carrés, à l'action du feu; la surface totale des tuyaux est de 15 mètres carrés, ce qui donne 18 mètres carrés pour la surface de chauffe entière.

Les palettes du ventilateur ont 12 pouces de largeur et 14 de hauteur; elles font 300 tours par minute et n'absorbent que très peu de force.

Le poids total des deux voitures est de 6000 kilogrammes, leur prix monte à 10,000 francs.

Le poids des machines locomotives, telles qu'on les construit actuellement en Angleterre, varie de 5 à 7000 kilogrammes; il faut ajouter à ce poids celui du fourgon chargé d'eau et de charbon qui les suit, c'est-à-dire,

3000 kilogrammes environ. Le prix de ces dernières machines est de 12000 francs.

Voici ce que M. Ed. Biot, dit relativement à la machine que nous venons d'expliquer. Ce fut aussi cette dernière (la machine de M. Stephenson), qui gagna le prix proposé par la compagnie de Liverpool.

Dans le même tems, et même avant les essais de Liverpool, M. Seguin aîné faisait des essais sur un système semblable, de chaudières traversées par des tuyaux, dans les chantiers de la compagnie du chemin de fer de St.-Etienne à Lyon. Un brevet même avait été pris par ses directeurs une année avant cette époque. Ainsi cette invention peut à juste titre être regardée comme une invention française.

Quoiqu'il en soit, ce système de chaudières à petits tuyaux horizontaux, pour la circulation de la flamme, est encore aujourd'hui le meilleur qu'on connaisse pour obtenir facilement une grande évaporation. Un grand nombre d'essais ont bien été tentés, soit par M. Braithwaite pour perfectionner sa première machine, soit par M. Gurney et d'autres ingénieurs, pour activer l'évaporation dans les machines qu'ils ont mises en mouvement sur les routes ordinaires. Le principe



général de ces essais, était d'employer le système des petits tuyaux d'une manière différente de celle déjà connue; et la complication de leurs appareils n'a pu admettre un service de longue durée. Aussi le système des chaudières à tuyaux horizontaux, est-il uniquement employé aujourd'hui sur le chemin de Liverpool à Manchester, et sur les chemins de fer déjà établis en France.

Les figures 40 et 41 représentent les systèmes essayés par MM. Braithwaite et Ericson. Dans la fig. 41, un courant d'air est produit au moyen d'un soufflet de forme cylindrique et à piston; dans la fig. 40, le tirage s'obtient au moyen de l'aspiration d'une machine à piston à peu près semblable.

Fig. 41, *a*, *b*, *c*, *d*, est la chaudière; *e*, le conduit de la vapeur; *f*, la soupape de sûreté; *g*, le foyer intérieur; *h*, la grille; *i*, le fourneau. *k*, est une caisse à charbon pourvue d'une soupape ou d'un registre destiné à produire l'écoulement du charbon sur la grille. *l* est le commencement de la galerie ou conduit de flamme qui serpente dans la chaudière; il va en se rétrécissant parce que la flamme est refroidie en le parcourant; elle entre par *m*, dans la cheminée qui est très petite. *n*, est la

pompe à air foulante. Avant d'entrer dans le cylindre, l'air passe dans un régulateur *o*, qui a la forme d'un soufflet, c'est une sorte de boîte semblable aux soufflets ordinaires, sur la planche duquel repose un poids *p*. L'air se rend ensuite par le tube *q*, en dessus et en dessous de la grille, au moyen de l'embranchement *r*, et *s*. Ces deux derniers tubes sont pourvus de robinets au moyen desquels on a la faculté de graduer la quantité d'air qu'on veut introduire dans chacune des deux parties du fourneau.

Dans la fig. 40, *a*, *b*, *c*, *d* est la chaudière, *e* le tube de vapeur qui la conduit à la machine, *f*, la soupape de sûreté, *g*, le foyer, *h*, la grille et *i*, le cendrier du fourneau. Le combustible se charge par la porte *k*, l'air atmosphérique entre dans le cendrier par le tube *l*, tandis qu'une autre portion est dirigée par les robinets *m*, au-dessus du feu. La flamme passe par le serpentin *n*, à l'extrémité duquel est adaptée une pompe aspirante à air à double effet *p*; des soupapes et un tube latéral convenablement disposés, secondent les fonctions de cette pompe à air qui est dans une situation horizontale. Le courant d'air s'é[illegible]nt de haut en bas, les dépôts de

cendres ou de poussière de charbon ne peuvent séjourner dans le serpentin.

Les courans d'air artificiels ne promettent pas seulement des avantages pour les voitures locomotives, mais encore pour toutes les autres machines à vapeur appliquées à l'industrie et aux arts. Dans les hautes cheminées, il est nécessaire de conserver à la fumée une température de 4 à 500 degrés, tandis qu'au moyen des courans d'air artificiels, 130 à 140 degrés suffisent. Il doit en résulter nécessairement une économie de combustible, si toutefois la puissance qu'il est nécessaire de dépenser pour le mouvement des appareils mécaniques destinés à produire ces courans artificiels n'établit pas une compensation équivalente à l'économie du charbon.

CHAPITRE VIII.

EXPÉRIENCES

Faites en Amérique sur les explosions des chaudières à vapeur, par l'Institut ou Comité de Franklin.

La chaudière qui a servi à faire ces expériences était en tôle et de forme cylindrique. son diamètre intérieur était de 12 pouces. Elle avait deux pieds dix pouces et $\frac{1}{4}$ de long. Son épaisseur était de $\frac{1}{4}$ de pouce. Cette chaudière était placée horizontalement sur un fourneau qui s'étendait à environ la moitié de sa longueur. Le fourneau n'avait rien de particulier; on le chauffait avec du charbon de bois.

Cet appareil fut muni avec un soin tout particulier, des instrumens nécessaires pour mesurer la chaleur, la tension de la vapeur, le niveau de l'eau. Des thermomètres et des manomètres étaient placés tant à l'extérieur qu'à l'intérieur de la chaudière. Des regards en verre permettaient d'examiner avec facilité ces derniers appareils, leurs indications, ainsi que l'état intérieur de la chaudière.

Cette dernière était en outre munie de trois robinets-jauges dont on mentionnera plus tard la position, d'une jauge en verre pour l'examen du niveau, de pompes foulantes, etc., etc.

Les recherches qu'on avait en vue furent particulièrement celles-ci :

1° Observer le travail tumultueux de l'ébullition dans l'intérieur des chaudières, le dénivellement du liquide. S'assurer de l'efficacité des robinets jauges ordinaires, des tubes jauges en verre, indicateurs de niveau, et des robinets-jauges proposés par Ewbank. S'assurer en même tems si la projection de l'eau en pluie, résultant de l'ébullition contre les parois chauffées de la chaudière, était susceptible d'augmenter davantage l'élasticité de la vapeur, qu'elle n'est diminuée par suite de son dégagement, par une ouverture pratiquée à la chaudière.

2° Répéter les expériences de Klaproth sur la conversion de l'eau en vapeur par son contact avec un métal surchauffé, et s'assurer si dans quelques circonstances, un métal surchauffé peut produire spontanément une grande somme de vapeur d'une forte élasticité. Et d'abord établir les relations qui exis-

tent entre une haute température et la pression de la vapeur dans les chaudières ?

3° S'assurer si la vapeur étant fortement échauffée ou désaturée, elle peut acquérir une grande élasticité par suite d'une projection d'eau dans sa masse ?

4° S'assurer autant que possible, si la vapeur surchauffée reste dans cet état de désaturation, quand elle ne cesse pas d'être en contact avec l'eau de la chaudière : ou si elle change de densité et de température ?

5° S'assurer par expérience, si le métal fusible est efficace pour prévenir le surchauffement des bouilleurs ou de leur contenu. Éprouver ce métal en plaques, ou enfermé dans des robinets. Dresser une table des époques de fusion de différens alliages.

6° Répéter les expériences de Klaproth sur la température maximum de vaporisation pour le cuivre et le fer en diverses circonstances.

7° Déterminer s'il peut se produire dans les chaudières surchauffées quelques gaz élastiques et permanens.

8° Observer dans des cylindres de cuivre [illegible], les espèces de dégradation ou dé-

chirures qui peuvent résulter d'une augmentation de pression.

9° Répéter les expériences de Perkins, et s'assurer si la répulsion qu'il établit entre les particules de vapeur et le fer fortement chauffé, est générale, et s'assurer, si c'est possible, l'étendue de cette répulsion, et cela en vue de déterminer l'influence qu'elle peut avoir sur les fonctions des soupapes de sûreté.

10° Examiner les cas où les soupapes de sûreté n'obéissent pas à la pression intérieure de la vapeur dans les chaudières, bien que leur charge calculée soit inférieure au poids qui tend à les soulever.

11° Examiner les effets des dépôts ou des incrustations dans les chaudières.

12° Faire des recherches sur la relation qui existe entre la pression et la température de la vapeur de 1 à 10 atmosphères.

Telles sont les expériences dont nous allons donner succinctement le résumé.

Première question. Observation du travail tumultueux de l'ébullition dans l'intérieur des chaudières, le dénivellement du liquide; s'assurer de l'efficacité des robinets jauges

ordinaires, des tubes jauges ordinaires indicateurs du niveau et des robinets jauges proposés par Ewbanck.

La première expérience sur le dénivellement de l'eau par l'ébullition fut faite au moyen d'un petit bouilleur en verre. Le feu parcourait toute sa longueur en dessous. Il se composait d'un cylindre de 14 pouces $\frac{1}{4}$ de long et de 7 pouces $\frac{1}{2}$ de diamètre. La vapeur ayant une pression d'un peu moins de deux atmosphères, une ébullition tumultueuse se produisit dans toute l'étendue du bouilleur, par suite de l'ouverture d'un robinet placé à une des extrémités du bouilleur, ou du soulèvement de la soupape de sûreté, établie aussi à une de ses extrémités.

Ces recherches furent continuées avec une chaudière en fer. Des glaces placées à chaque front de la chaudière, permettaient d'examiner facilement ce qui se passait dans l'intérieur. La plus grande intensité du fourneau agissait en avant du milieu de l'appareil, sur une étendue d'environ un tiers de sa longueur. Quand la pression de la vapeur n'excédait pas deux atmosphères, une ébullition locale se prononçait d'abord au-dessous du point [illegible] suivie bientôt d'un bouillon-

nement général dans tout le bouilleur, ce bouillonnement devenait d'autant plus grand, que l'ouverture d'évacuation était augmentée. Cette petite chaudière fut complètement remplie par le bouillonnement quand on eut ouvert la soupape de sûreté dont la surface était d'environ deux dixièmes de pouces en carré. Elle était placée au milieu de la voûte de la chaudière, et l'eau fut lancée avec violence au travers de l'ouverturè de cette valve. La surface de la valve relativement à la section du bouilleur, à sa ligne de niveau d'eau, était de $\frac{1}{2058}$. Le bouilleur dans ces expériences, était à moitié plein d'eau, et les robinets jauges étaient maintenus ouverts. Le bouillonnement qui fut précédemment observé, était considérablement augmenté chaque fois qu'on retirait de la vapeur de la chaudière pour alimenter la machine, qu'un robinet était ouvert ou que la soupape de sûreté était soulevée. Ceci est intéressant sous deux points de vue, d'abord sous le rapport de la manière dont le niveau d'eau se comporte dans la chaudière, et ensuite sous celui de la projection de l'eau contre les parois chauffées.

Les appareils destinés à reconnaître le ni-

veau d'eau dans cette chaudière étaient trois robinets, dont l'un était placé à la hauteur du niveau, et les autres à égale distance en dessus et en dessous du premier. La vapeur ayant deux atmosphères de pression, le niveau d'eau fut abaissé juste au-dessous du robinet inférieur. En ouvrant ce robinet, d'abord il en sortit de la vapeur, ensuite un mélange d'eau et de vapeur; en ouvrant le second robinet, l'eau sortit librement par celui d'en dessous. On voyait distinctement le bouillonnement dans la chaudière à travers les regards en verre. En ouvrant le troisième robinet supérieur, l'eau mêlée à la vapeur passèrent par le second qui était élevé de deux pouces au-dessus du niveau. Par suite d'un soulèvement partiel de la soupape de sûreté, l'eau coulait librement par le second robinet. Enfin, au soulèvement complet de la soupape de sûreté, l'eau s'épanchait librement par le troisième robinet, plus élevé que le niveau de trois pouces et trois quarts, et finalement l'eau et la vapeur se projettent au travers de l'ouverture de la soupape de sûreté. Dans ces expériences, une ouverture du robinet inférieur de 0,03 d'un pouce carré, qui relativement à la surface entière du liquide, n'é-

tait que la $\frac{1}{11700}$ partie, produisait l'issue de l'eau et de la vapeur au travers de ce robinet, au-dessous duquel on sait que se trouvait le niveau de l'eau. Une ouverture postérieure de 0,03 de pouces carré, qui ajoutée avec la précédente, faisait 0,06 ou bien $\frac{1}{1110}$ partie de la surface du liquide, donnait lieu à l'épanchement de l'eau par le robinet inférieur, et enfin, une ouverture de 0,09, équivalente à la $\frac{1}{4567}$ partie de la surface du liquide dans la chaudière, produisait l'épanchement de l'eau et de la vapeur par le robinet du milieu. Ce qui indique que le niveau de l'eau s'était élevé de deux pouces au-dessus de la hauteur qu'il occupait avant l'expérience.

Un premier appareil à plaque fusible, fut appliqué à cette chaudière. Immédiatement elle déboucha une ouverture de 0,95 pouces en diamètre, et les contenus bouillans de la chaudière furent lancés avec violence contre le toit de la maison. La vapeur avait une pression assez basse.

L'effet du tube jauge de verre appliqué à l'appareil fut contrôlé avec les robinets, et on s'assurait que malgré les oscillations, on pouvait obtenir une indication suffisante

niveau, en prenant la moyenne des oscillations.

Quant à l'usage des tubes en verre dans l'emploi de la vapeur à haute pression, une objection se présente relativement à l'effet produit par son contact sur la matière dont ils sont fabriqués, et qui détruit graduellement sa transparence. Cette destruction ne peut être que le résultat de l'action de la vapeur sur l'alcali qui entre dans la composition du verre, effet que *M. Gaginard de Latour* avait observé dans ses expériences sur les liquides à haute température, renfermés dans des tubes de verre. Aussi long-tems qu'ont duré les expériences du comité, on a pu reconnaître que les tubes en verre vert n'étaient point attaqués dans leur transparence; il est d'ailleurs aisé de les fabriquer, et on a vu pour quelles raisons cette forme en tubes est préférable aux jauges prismatiques fabriquées avec des lames de verre (1).

On essaya aussi l'appareil de M. Ewbank. Voici sur quoi il est fondé. Quand la vapeur, dans une chaudière est formée, et que la machine ne travaille pas, si le feu est suffisam-

(1) Une jauge de cette espèce s'est brisée dans les expériences du comité. Celles dont nous avons déjà fait mention.

ment couvert, l'eau conserve son niveau ordinaire, et elle reste à peu-près immobile. Mais aussitôt que la machine est mise en marche, l'ébullition se produit au-dessous de la prise de vapeur; le niveau remonte en raison du bouillonnement produit par chaque coup de piston, l'eau et la vapeur mêlées ensemble, se dirigent alors vers le tube de vapeur, et de là vers la machine; or, voici le moyen qu'il propose pour éviter ce grave inconvénient. Il prolonge de deux ou trois pouces le tube de vapeur dans la chaudière, et il adapte à son extrémité intérieure un embranchement de tube, lequel est percé dans sa longueur et à ses extrémités d'une quantité de petits trous. Par ce moyen la vapeur y passe seule, en raison de ce qu'elle est prise dans une plus grande étendue de la chaudière, au lieu de s'y précipiter tumultueusement d'un seul endroit. Une pareille installation peut être avantageusement appliquée au siége intérieur de la soupape de sûreté, ou bien encore la valve de sûreté peut correspondre à un des embranchemens du tube auxiliaire décrit précédemment. La défectuosité commune aux robinets jauges, et qui dépend des mêmes causes, peut être corrigée de la même manière.

Or, le comité par ses expériences et par les essais des appareils de M. Ewbanck, a reconnu la vérité de ces objections, ainsi que l'efficacité du procédé qu'il emploie pour y pourvoir.

Relativement à l'effet produit par le bouillonnement de l'eau sur l'élasticité de la vapeur dans la chaudière, la question fut considérée de cette manière : quand une ouverture est pratiquée à une chaudière dont les parois sont chaudes, l'effet du bouillonnement diminue-t-il l'élasticité de la vapeur, par suite de son échappement, ou bien l'eau répandue sur les parois chaudes, par ce même effet du bouillonnement, donnera-t-elle lieu à un accroissement d'élasticité dans la vapeur? Il était difficile de répondre à une question qui embrassait tant de conditions. Cependant on pensa qu'au moyen d'une petite chaudière, on pourrait y parvenir, puisqu'on avait les moyens de faire varier aisément les sections de l'ouverture des robinets, jusqu'à les faire très petites ou très grandes. La position de la chaudière employée sur son fourneau, était telle, que ses parois pouvaient être aisément chauffées, et qu'on pouvait la placer dans des circonstances avantageuses, pour accroître l'élasticité de la vapeur par le bouil-

lonnement intérieur. L'appareil fut ainsi disposé pour faire les essais en question.

M. Arago, dans son essai sur les explosions des chaudières à vapeur, dit que MM. *Tabarau* et *Rey*, de Lyon, trouvèrent qu'en ouvrant un large robinet adapté à une chaudière à moyenne pression, la soupape de sûreté se soulevait, ce qui démontrait un accroissement de pression de la vapeur dans la chaudière. Les expériences de *MM. Dulong* et *Arago*, à Paris, présentèrent un résultat contraire, puisque l'ouverture de la soupape de sûreté était toujours suivie d'une diminution dans l'élasticité de la vapeur. Mais la chaudière, dans ces circonstances, n'était pas dans les mêmes conditions que celle de MM. Rey et Tabarau.

Pour répéter ces expériences, on établit un bon feu sous la chaudière, et quand, par suite d'une consommation de vapeur, le niveau de l'eau se fut abaissé d'environ trois pouces au-dessous de la ligne de niveau, l'expérience fut commencée. La pression de la vapeur était de trois atmosphères et demie. Un robinet de 0,03 de pouce carré d'ouverture, la $\frac{1}{10000}$ partie de la surface de l'eau, au commencement de l'expérience, évacuant

par secondes, à trois atmosphères et demie de pression, environ 409 pouces cubes de vapeur, fut d'abord ouvert. Ensuite la soupape de sûreté fut soulevée en partie ou entièrement; la surface de l'ouverture de son siége, quand elle était complettement soulevée, étant de 0,208 d'un pouce carré, ou la $\frac{1}{1050}$ partie de la surface de l'eau dans la chaudière, elle était à même de fournir en une seconde, le passage à une quantité de vapeur à trois atmosphères, égale à neuf fois la capacité de la chambre de vapeur. Le niveau d'eau ayant baissé par suite de ces consommations de vapeur, cette dernière ne tarda pas à se surcharger de chaleur; et le fer de la chaudière, éloigné de la ligne de niveau de plus d'un tiers de la distance comprise depuis le dôme jusqu'à la plus basse ligne moyenne de niveau, devint assez chaud de chaque côté du niveau, pour atteindre la couleur rouge, ayant passé d'abord par la température de maximum de vaporisation de l'eau, laquelle se projetait par son bouillonnement sur le fer. L'expérience fut ainsi continuée jusqu'à ce que l'eau fut entièrement évacuée. Alors une petite quantité d'eau fut injectée contre le fond de la chaudière, en [illegible] rouge de chaleur. L'expé-[illegible]pétée.

On verra par la table ci-après, que le résultat de ces épreuves, indiqué par les échelles de pression, fut constamment une diminution d'élasticité de la vapeur dans le bouilleur. Dans la première partie de ces expériences, la pression variait de trois et demi à huit atmosphères.

La première colonne de la table ci-jointe contient les remarques relatives au niveau de l'eau dans l'intérieur de la chaudière. La seconde, la nature des ouvertures pratiquées. Dans la troisième, on a rendu compte de la température indiquée par le thermomètre qui pénétrait jusqu'au fond de la chaudière. La quatrième colonne marque la hauteur du manomètre avant l'expérience. La cinquième, la hauteur immédiatement après l'ouverture, à moins que le contraire ne soit spécifié dans la sixième colonne, qui contient des remarques relatives au manomètre. Enfin la septième colonne contient des observations générales.

Le thermomètre indiquait en premier lieu, la température de l'eau, ensuite celle de la vapeur désaturée. Mais cet instrument, à la fin, était affecté de la chaleur rayonnante du fond de la chaudière.

REMARQUES sur la hauteur DE L'EAU.	NATURE de L'OUVERTURE.	TEMPÉRATURE; LE THERMOMÈTRE placé au fond de la chaudière.	HAUTEUR DU MANOMÈTRE en pouces. AVANT.	APRÈS.	REMARQUES sur la dépression DU MANOMÈTRE.	REMARQUES GÉNÉRALES.
3 pouces.	Robinet jauge.	140° centig.	18,6	18,0		Température de l'air. 27°,5. La pression correspondante à 18,6 pouces est de 3,5 atmosphères.
	Idem.		20,4	20,2		
	Soupape de sûreté		20,5	20,0	Chute très rapide.	La pression correspondante à 21,3 pouces est 5,5 atmosphères.
	Robinet jauge.		21,0	20,9	Chute immédiate.	
	Soupape de sûreté.		21,3	21,0		
0,9 de pouces.	Robinet jauge.	158,5	21,9	21,8		
	Soupape de sûreté.		22,1	21,7	Chute en une 1/2".	De 8 1/2 à 5 atmosphères environ.
	Idem.		22,6	20,6	Chute en 2".	
0,9 de pouces.	Robinet jauge.	193,3			Chute.	Vapeur désaturée, la chaleur du fond de la chaudière considérablement accrue.
	Soupape de sûreté.	242,5	15,1	12,6		
	Robinet jauge.		18,0	14,0		Eau bouillonnante, injection au travers.
	Soupape de sûreté.		16,0	14,0	Chute immédiate.	Le thermomètre monte à 315°,5.

La seconde partie des expériences du comité de Franklin devait avoir pour objet de répéter celles de Klaproth, relativement à la conversion de l'eau en vapeur, par un métal surchauffé, et de faire d'autres expériences calculées de manière à démontrer dans quelles circonstances un métal fortement chauffé peut produire spontanément une grande quantité de vapeur d'une forte élasticité.

La première partie de ces recherches indiquait une répétition ou une extension des expériences de Klaproth, la seconde s'y rapporte, mais elle peut aussi avoir une solution par des expériences directes indépendantes des méthodes requises pour obtenir une réponse à la première partie de la question.

On a supposé que, parce que le métal d'une chaudière était d'une température supérieure à celle qui produit la vapeur avec le plus de rapidité, il n'était pas possible de se rendre compte, par cette même cause, de la quantité de vapeur produite à un haut degré d'élasticité. Le comité se détermina à faire de la production de la vapeur surchauffée par le métal également surchauffé, le sujet d'expériences directes, et cela dans des cir-

constances, autant que possible, semblables à celles auxquelles les chaudières sont soumises quand leurs parois ou les courans de flammes sont, par l'absence du contact de l'eau, chauffées avec excès.

La chaudière d'épreuve étant disposée comme précédemment, une petite quantité d'eau fut introduite dans son intérieur. La chaleur ayant été appliquée, la température du fond s'éleva graduellement à différens degrés de température ; une certaine quantité d'eau mesurée fut refoulée dans l'intérieur, et on notait en même tems les effets produits sur les manomètres. La chaleur de la vapeur produite était donnée par un thermomètre qui traversait horizontalement un des fronts de la chaudière, à une distance au-dessus du fond de deux tiers de son diamètre.

Un second thermomètre, semblablement disposé et le plus près possible du fond, indiquait en même tems la température de cette partie de l'appareil ; les deux regards en verre épais, placés aux fronts de la chaudière, permettaient d'observer son intérieur.

L'eau injectée avait 21° centigrades ; on la voyait dans son trajet, devenir rouge au fond de la chaudière. La chaudière étant un



peu inclinée, l'eau d'abord obscure se répandait tumultueusement en suivant la ligne du milieu, du fond de la chaudière ou en arrosant ses parois; elle était fortement agitée et changeait fréquemment d'aspect. L'eau, en général, disparaissait en passant d'une extrémité de la chaudière à l'autre, ou si elle était retenue par quelques fragmens de sédimens, elle disparaissait autour d'eux. La table ci-après donne les résultats obtenus. Les expériences furent terminées par suite d'une violente fracture de la glace du regard placé près du feu.

La hauteur du thermomètre inférieur a été examinée et notée par un observateur placé en tête de la chaudière: elle est donnée dans la première colonne, et la seconde indique les apparences du fond de la chaudière, ces deux observations étant faites avant l'injection de l'eau. Dans la troisième colonne, on a indiqué la quantité d'eau injectée à chaque coup de la pompe foulante. La pression de la vapeur était notée par le même observateur, qui refoulait l'eau dans la chaudière; elle est indiquée dans la quatrième colonne. D'abord on examinait au travers d'un regard, la température produite dans la va-

peur avant la chute du mercure dans le manomètre ; la cinquième colonne indique cette température. Comme dans toutes ces expériences la vapeur se produisait avec rapidité, et que l'attention se portait sur plusieurs objets à la fois, on ne put s'assurer exactement des circonstances accidentelles, indépendantes de la température, qui auraient pu faire varier le tems de l'évaporation, ni que le maximum d'effet se fût toujours passé dans un intervalle de une à quatre ou cinq minutes.

TEMPÉRATURE du fond de la chaudière.	APPARENCES du fond de la chaudière.	QUANTITÉ d'onces d'eau injectée.	PRESSION produite par l'injection.	TEMPÉRATURE de la vapeur produite par l'injection.
cent.			atmosph.	centig.
146,6	noire.	2	3,5	169°
»	*Idem.*	*Idem.*	3,4	171
165,5	*Idem.*	*Idem.*	3,3	180
»	rouge en partie.	*Idem.*	3,7	183
172	rouge.	*Idem.*	3,7	191
»	*Idem.*	3	4,2	»
»	*Idem.*	$5\frac{1}{2}$	8,2	»
195	*Idem.*	$5\frac{1}{2}$	8,2	197
214	*Idem.*	7	8,7	218
220	*Idem.*	10	9,8	251
231	*Idem.*	*Idem.*	12	269

Dans la dernière expérience, la glace du regard située du côté de l'âtre, fut brisée avec un fracas semblable à un coup de fusil. Les fragmens produisirent une ouverture au travers de la plaque, furent lancés à environ trois pieds de la chaudière, et ne purent être retrouvés. Le nombre de douze atmosphères est placé en regard de cette expérience, mais ce n'est qu'un résultat approximatif, pendant l'observation du manomètre, la glace s'étant rompue et le mercure s'étant spontanément abaissé. Toutefois on prit note du nombre de pouces auquel le mercure dut s'être élevé, et on en déduisit la pression indiquée dans la table. Entre le dernier coup de pompe et l'explosion, l'intervalle ne fut pas de une ou deux minutes, mais ce chiffre n'est qu'une estimation probable. L'observateur chargé d'examiner l'état des manomètres, était en même tems occupé à faire agir la pompe foulante, lors de l'accident.

En comparant la température de la vapeur dans ces expériences, avec les pressions correspondantes, on verra que dans aucune d'elles, l'eau injectée ne donnait à la vapeur la densité relative. Par exemple, la température de 169° cent., devait donner une pression de

7, $\frac{1}{4}$ atmosphères, elle n'en a donné que 3,3. Celle de 194° devait fournir une pression (1) de 14 atmosphères, elle n'en produisit que 8,2. Enfin celle de 231°, correspondante à 27 $\frac{1}{2}$ atmosphères, n'en fournit que 10. La violence de l'effet n'a pas toutefois été ce qu'elle eût pu être, si le métal avait été refroidi à la température qui peut produire le maximum d'effet; et cependant, en deux minutes, la pression passa de une à deux atmosphères (2).

(1) D'après les expériences de MM. Dulong et Arago.

(2) Il est évident aussi que la quantité d'eau injectée, à la dernière expérience, comme dans toutes les autres précédentes, n'a pas été suffisante pour saturer l'espace : en effet, dans la dernière, par exemple, la quantité d'eau injectée correspond à environ un volume de 16 pouces cubes. Or la capacité de la chaudière vide défalquée de tous les appareils intérieurs destinés aux expériences, était de 3456 pouces cubes environ, ou deux fois le volume de la vapeur à basse pression, c'est-à-dire à 100°, et, comme la densité de la vapeur saturée est relative à sa température et à sa pression, deux pouces cubes d'eau à une atmosphère étaient nécessaires pour saturer l'espace. Il en aurait fallu 4 pour deux atmosphères, 8 pour 4 et 16 pour 8. Il en aurait donc fallu 24 pour saturer la vapeur à 12 atmosphères.



Les élévations de températures notées dans la première colonne de la table précédente prouvent que par les injections successives d'eau, le métal ne se refroidissait pas jusqu'au point de maximum de vaporisation, et que les résultats furent obtenus avec un métal rouge de chaleur.

Les expériences de Perkins offrent de la dissemblance avec les précédentes, car il injectait l'eau dans la vapeur échauffée, et c'est à cette action qu'il attribuait ses résultats. Nous examinerons plus tard cette opinion.

La répétition des expériences de Klaproth

La pression correspondante à cette saturation de vapeur pour la température de 231° aurait donné environ 27,5 atmosphères au lieu de 12. Dans tous les cas, les épreuves en question, bien qu'elles n'aient pas été assez multipliées ni faites dans beaucoup d'autres conditions, prouvent qu'il est très possible que la vapeur désaturée se sature spontanément par de l'eau injectée à propos contre le métal surchauffé, et qu'il peut en résulter une explosion violente.

Sans doute il est regrettable que ces expériences n'aient pas été poussées plus loin, puisque la chaudière d'épreuve était à même de résister à une pression très considérable, et que c'est probablement à des saturations spontanées qu'on doit attribuer les cas généraux d'explosion.

fut de tous les travaux du comité, le plus difficultueux; nous en donnerons plus tard les résultats.

La troisième question que le comité de Franklin avait en vue de résoudre dans ses recherches sur les explosions, était celle de savoir si la vapeur fortement surchauffée et dessaturée peut, par suite d'une projection d'eau dans sa masse, produire une vapeur d'une grande force élastique.

La supposition que l'eau lancée au milieu de la vapeur dessaturée est transformée en vapeur d'une grande élasticité, forme la base de la théorie des explosions de M. Perkins; et quoiqu'elle soit en opposition avec les lois bien connues de la chaleur, elle n'en a pas moins des partisans. Le comité a cru devoir expérimenter sur ce point, et aussi s'assurer s'il n'y aurait pas quelques circonstances particulières non prévues par la théorie, ou si on avait bien estimé toutes les circonstances qui régissent les lois de la chaleur.

La méthode employée pour obtenir de la vapeur désaturée fut celle-ci. On disposa la chaudière et son fourneau, de manière à ce que le feu étant appliqué au-dessus de la

chaudière, les appareils destinés aux mesures de la chaleur et de la pression, les soupapes de sûreté, les plaques fusibles etc., en fussent garantis. En remplissant la chaudière jusqu'à la moitié, et appliquant une chaleur mesurée à la partie en contact avec l'eau, la moitié supérieure de la chaudière se remplissait d'une vapeur relative à la température, et son élasticité était mesurée par le manomètre. Ensuite le feu était appliqué au-dessus de la chaudière pour échauffer le métal de cette partie et la vapeur sous-jacente; on mesurait en même tems la chaleur de l'eau et celle de la vapeur, au moyen des thermomètres placés dans ces deux milieux et garantis par des tubes en fer et des bains de mercure. L'appareil au moyen duquel on injectait de l'eau dans les chaudières, consistait en un tube adapté à un robinet placé sur une des faces planes surchauffées de la chaudière; il communiquait d'autre part avec une pompe foulante; le tube dans la chaudière se terminait en pomme d'arrosoir percée de quatorze trous de la grosseur d'une aiguille fine, au travers desquels l'eau passait par jets. La disposition de ces petites ouvertures était telle que quelques-unes lançaient

l'eau contre le dôme du bouilleur près de la soupape de sûreté, deux ou trois contre une des faces de front, deux ou trois dans la chaudière près de l'autre fond, enfin sept ou huit lançaient l'eau d'une manière inclinée dans la chambre à vapeur. L'effet de quelques-uns de ces courans d'eau, de ceux qui choquaient les parois de la voûte et des faces de front de la chaudière, et qui ne se mêlaient pas à la vapeur, était toutefois, de vicier les expériences, cependant le premier jour on les fit avec une pareille disposition. La chaleur de la vapeur ne put s'élever au-dessus de 251°. La manière de procéder aux expériences fut la même que précédemment, et les observations purent être établies avec autant de facilité.

Le feu ayant été appliqué au-dessous de la chaudière, l'eau s'échauffa à une température correspondante à une et demie et deux et demie atmosphères; dans cet état on passa le feu au-dessus de la chaudière pendant qu'on renouvelait celui du dessous. L'effet de la chaleur ainsi appliquée au dôme fut aussitôt marqué par le thermomètre et le manomètre. Quand la température de la vapeur surchauffée dépassait celle de l'eau, l'injection de

l'eau était commencée, le tube injecteur étant soigneusement maintenu froid, au moyen d'éponges ou de chiffons mouillés. Les températures indiquées par les thermomètres, pour l'eau et la vapeur étaient soigneusement observées avant et après l'injection, pendant qu'un second observateur tenait compte exact du nombre de coups de piston de la pompe foulante, de l'eau employée, et en même tems des indications du manomètre. La température de l'air dans le manomètre bouché, était également notée de tems à autre.

Le second jour, six des quatorze petites ouvertures de la pomme d'arrosoir se bouchèrent, et la source d'erreur mentionnée plus haut disparut ainsi. La température de la vapeur ne put atteindre que 226°,5 et les expériences ne purent être faites qu'à cette température et en dessous. Les résultats généraux obtenus les premier et second jour coïncident si bien, selon les différentes circonstances, avec ceux de l'essai final, que nous croyons inutile d'en donner plus de détail.

Le dernier jour des essais, la chaleur du dôme de la chaudière fut si soutenue et si grande, que le thermomètre placé dans l'eau, devint inutile comme indicateur de sa tempé-

rature, nous en dirons plus tard les raisons. La table ci-après rend compte des résultats. La première colonne indique la température de la vapeur désaturée avant l'injection de l'eau dans chaque expérience. La seconde, la température après l'injection. On peut comparer ainsi et s'assurer si la chaleur fournie était suffisante pour compenser celle consommée par la vaporisation de l'eau injectée. La troisième colonne montre la quantité d'eau injectée ; la quatrième, la hauteur du manomètre avant l'injection, la cinquième après ; la sixième, la température de l'air ambiant des manomètres. La septième et la huitième, la pression en atmosphères, déduite de la hauteur des manomètres corrigés de la chaleur de l'air dans leur intérieur, avant et après chaque expérience. On n'a pas cru devoir indiquer l'influence de la température sur les échelles des thermomètres, la variation étant comprise entre les différences de températures, de 30 à 35°,5 C.

On a aussi introduit dans cette table la moyenne des premières expériences, afin de montrer la température de l'air dans la chaudière avant que la chaleur, long-tems soutenue, n'eût affecté sensiblement les indications du thermomètre.

HAUTEUR DU THERMOMÈTRE plongé dans la vapeur		ONCES D'EAU INJECTÉES.	HAUTEUR DU MANOMÈTRE, en pouces.		TEMPÉRATURE DE L'AIR.	HAUTEUR DU MANOMÈTRE en atmosphères.		REMARQUES.
AVANT l'expérie.	APRÈS. l'expér.		AVANT l'expér.	APRÈS l'expér.		AVANT l'expér.	APRÈS l'expér.	
centigr.	cent.				centig.			
191°	»	0	21,17	»	18,5	5,72	0	Sans injection pour comparaison. Eau dans la chaudière 270° centig.
233	293	2	21,30	21,25	19,0	5,85	5,8	
263	264	3	21,50	21,50	»	6,13	6,15	Manomètre stationnaire.
264	266	7	21,52	21,47	»	6,21	6,07	La température de l'air dans le manomètre a été notée pendant deux expériences.
270	»	0	21,80	......	21,1	6,65		
270	273	3	21,80	......	.....	6,65		Le manomètre tombe lentement et se relève au-dessus de son niveau ordinaire.
273	274	6,½-	21,80	21,70		6,65	6,48	
274		10,0	21,80	21,65		6,65	6,41	
275	275	13,0	21,80	21,60		6,65	6,34	
277,5		0	21,90			6,82		
278	278	6	21,90	21,85		6,82	6,74	Élévation spontanée à 21,9.
278	278	14	21,90	21,70		6,82	6,48	Abaissement de presque 2 po.
								Nota. D'après MM. Arago et Dulong, la température de 278° correspondait à 60 atmosph. (d'après leur formule).

A la fin des expériences, le métal était dans plusieurs endroits à la température du rouge visible au jour.

L'état précis des choses dans la chaudière dont quelques parties étaient fortement chauffées, fut observé dans ces mêmes expériences. La vapeur surchauffée et le métal se cédaient facilement leur chaleur pour remplacer celle qui avait pu être absorbée par la conversion de l'eau injectée en vapeur. Cette dernière circonstance fait opposition à la théorie qui a été précédemment établie sur cette question. La plus ou moins grande chaleur cédée par les parois de la chaudière, devait nécessairement modifier les effets observés résultant de l'injection d'une quantité donnée d'eau. Il est à remarquer dans les nombres donnés par la table, que, quoique la plus grande quantité d'eau injectée entre deux expériences consécutives, n'ait pas démontré une grande dépression dans le manomètre, cependant la même chose n'a pas eu lieu dans des expériences plus éloignées. Nous voyons que dans aucun cas, il n'y avait lieu à un accroissement d'élasticité produit par l'eau injectée dans la vapeur surchauffée et désaturée; qu'au contraire, plus la quantité d'eau introduite

était grande, plus il y avait lieu à une diminution dans l'élasticité de la vapeur. La quantité d'eau injectée était de 3,5 à 24,3 pouces cubes. La chute immédiate des manomètres après l'injection, montre avec quelle facilité et quelle rapidité les parois de la chaudière abandonnaient leur chaleur à la vapeur.

Il résulte de la comparaison de la température de la vapeur désaturée avec les pressions données par MM. Dulong et Arago, pour la vapeur saturée, que la pression correspondante, par exemple, à la température de 263° C. que nous n'avons obtenue que de 6,15 atmosphères, devait être de 48. Quand la température de la vapeur fut élevée à 278°, la pression ne fut que de 6,82 atmosphères au lieu de 60.

On s'assura dans toutes ces expériences que la conductibilité des thermomètres et de leurs enveloppes relativement à la chaleur, était parfaite. Mais en examinant l'appareil après les expériences du dernier jour, on s'aperçut que le mastic employé à l'application de celui des thermomètres qui était plongé dans l'eau de la chaudière, s'était ramolli par la chaleur, et s'était répandu dans le tube qui établit une communication entre la

peur et la boule de ce thermomètre. Cette circonstance n'avait pas eu lieu dans les expériences précédentes.

Il restait maintenant à examiner la question de savoir si quand la vapeur est surchargée de chaleur, par suite de son contact avec les parois chauffées du métal des chaudières, elle reste ainsi surchargée de chaleur malgré son contact avec l'eau de la chaudière, si elle ne devient pas saturée ?

Mais comme la réponse à cette question est donnée par les expériences déjà détaillées, le comité ne crut pas devoir expérimenter de nouveau à ce sujet. Quand le feu fut appliqué au dôme de la chaudière, la température de l'eau était à 159°, C; un feu modéré fut entretenu au-dessous, assez uniformément pour que de grandes variations de température ne pussent en rien influer sur les résultats. Si nous admettons que pendant les expériences, cette température fut de 153°,2 C., nous trouverons une correspondance remarquable entre les pressions observées, et ceux qu'on calculerait sur la supposition que la vapeur se dilate par la chaleur comme un gaz le ferait sans aucune addition d'r

La table ci-après donne les températures de la vapeur désaturée, observées à différentes époques pendant le cours des expériences, les pressions indiquées par le manomètre pour ces mêmes températures, la pression qui a été produite par l'échauffement successif de la vapeur à 153°,2, selon les températures données dans la première colonne, l'expansion de cette même vapeur désaturée; enfin les pressions de la vapeur saturée, correspondantes aux températures désignées dans la première colonne.

TEMPÉRATURE de la vapeur désaturée.	PRESSION correspondante par l'expérience en atmosphères	PRESSIONS calculées par l'expansion de la vapeur à 153°2 par la chaleur.	PRESSION de la vapeur saturée aux températures correspondantes.
centig.	atmosph.	atmosph.	atmosph.
153°2		5,2	
191	5,7	5,6	10,4 (1)
233	5,8	6,2	31,6
263	6,1	6,5	48,0
274	6,6	6,7	57,3
278	6,8	6,75	61,1

(1) Ces nombres sont donnés par la table de MM. Arago et Dulong, ou par la formule indiquée à la suite de ces mêmes tables.

Recherches sur les plaques fusibles en alliage.

On sait que beaucoup de personnes en Europe, considèrent l'usage des plaques en métal fusible, comme un moyen de sûreté pour les chaudières à vapeur. Ces plaques sont un alliage d'étain et de plomb, ou de ces deux métaux avec le bismuth, en proportions qui réglent leurs points de fusion. En France, ces plaques sont préparées à la Monnaie, elles sont lancées dans le commerce en plaques ou en lingots. L'examen qui a été fait pour déterminer les proportions nécessaires, en vue de régler leur point de fusion à tel ou tel degré de température donnée, les circonstances de leur fusion n'ont pas été assez publiées. Une table des points de fusion de différens alliages, d'étain, de plomb, de bismuth, etc, a été dressée d'après l'expérience, par *Parke*; elle va faire la base des investigations du comité.

La méthode employée par *Parke* pour déterminer le point de fusion d'un métal, ou plutôt le point de solidification du métal fondu, est ingénieuse. Quand un métal fondu est ramené do[illegible]ent au point de congélation, si on y [illegible] thermomètre, on observera une élé-

vation de température et ensuite une époque stationnaire. C'est là le point où le changement s'opère, et par suite duquel la chaleur fournie lors du changement, est égale à celle que le métal céde au milieu environnant. Ce point coïncide ordinairement avec le passage du métal de l'état liquide ou demi-liquide, à l'état solide. Il se présente alors sous un aspect semblable à une agrégation de particules sablonneuses. Quelquefois le métal est entièrement solide quand l'époque stationnaire arrive, quelquefois il ne l'est plus que dans un seul endroit.

Le point stationnaire n'est pas celui où la plaque fusible laisse échapper la vapeur, cette plaque étant recouverte par un grillage ou disque percé qui s'y oppose. Ce disque est assez mince et façonné pour que les portions de la plaque puissent s'y arrêter avant leur fusion. Ces faits seront examinés plus tard.

Les points stationnaires donnent des moyens approximatifs de déterminer la fusibilité des plaques, les unes à l'égard des autres, quand elles sont placées sur les chaudières, ainsi que les moyens d'étudier leur composition relative. En composant l'alliage en question,

on fond d'abord l'étain à la plus basse température possible, ensuite le bismuth, et on ajoute après le plomb. Ces métaux sont aisément réduits par l'étain liquide, et éprouvent une légère oxidation. La surface de l'alliage est toujours protégée par une couche d'huile. On remue constamment le métal en fusion, afin d'opérer un mélange complet.

Quand l'alliage est liquide, un thermomètre exact est plongé dans le bain, et on tient compte aussi du tems qui se passe entre différentes époques d'abaissement de températures, qui varient selon les quantités et les qualités du métal. Quand la masse est considérable, il n'y a presque point d'intervalle entre le point stationnaire et celui de fusion. Dans les épreuves, la quantité d'alliage fabriquée ne dépassait pas cinq ou six onces. Pour empêcher que le thermomètre ne fût soudé dans le métal après son refroidissement, on l'avait entouré d'un tube en fer très mince, rempli de mercure. Ce cylindre avait en outre l'avantage de préserver le thermomètre de la compression qui résultait de la congélation du métal et de son expansion en prenant cet état solide.

[illegible]ue dans le commerce plusieurs

espèces d'étain, de plomb et de bismuth. Souvent ces métaux contiennent des substances étrangères qui altèrent leur degré de fusibilité. La moyenne de plusieurs expériences indiqua que le point de fusion de l'étain dit en grain, était à 228°,3 C. ; celui du plomb pur à 316° C., du plomb commun à 317°. Quant au bismuth du commerce, étant obtenu ordinairement du bismuth natif, il ne saurait varier dans son point de fusion, (1) (245° C.).

Nous n'entrerons point dans les détails nombreux des expériences qui ont été faites par le comité sur les plaques fusibles ; nous nous bornerons à spécifier les conclusions du rapport, qui sont celles-ci :

1° Les substances étrangères contenues ordinairement dans le plomb, l'étain ou le bismuth, ne sont généralement pas de nature à faire varier de beaucoup leur point de fusion.

2° L'étain et le plomb, mélangés en égales proportions, ne constituent pas un composé chimique en proportions définies. Les alliages en parties égales et ceux d'une partie d'étain

(1) Cependant on en retire aussi du sulfure de bismuth qui n'est pas très pur.

sur six de plomb varient considérablement dans l'intervalle de la température où s'opère leur fusion et celle où le thermomètre annonce leur point stationnaire. Ces divers alliages produisent presque la même température stationnaire dans un thermomètre plongé dans le métal au moment de la solidification.

3° Les plaques fusibles recouvertes d'un disque métallique perforé, et placées sur la chaudière, montrent des signes de fluidité avant que la vapeur ait atteint la température de fusion affectée à l'alliage. Le métal fluide s'échappe au travers du grillage métallique, et perd beaucoup de sa substance avant de donner une complète issue à la vapeur.

4° La partie inférieure de la plaque s'oxide légèrement et n'est pas protégée par la couche d'oxide relativement à sa fusion.

5° L'épaisseur des plaques n'est pas importante; il suffit qu'elle soit suffisante pour résister à la pression de la vapeur relative à la température au-dessous du point de fusion.

6° La température à laquelle les plaques, dans leur fabrication, sont fondues ou refroidies, n'affecte en rien la température à laquelle elles doivent obéir pour donner une [illegible] vapeur.

7° L'effet établi dans un des paragraphes précédens, n° 3, s'explique par la nature des alliages employés, qui sont formés de parties différemment liquéfiables. Les parties les plus susceptibles de se liquéfier sont chassées d'abord par la pression de la vapeur; les autres généralement s'échappent ensuite par particules.

8° On peut imiter par pression, dans un vaisseau perforé, l'effet de séparation des différentes parties fluides des alliages.

9° Les alliages fusibles chargés d'indiquer la température des différentes parties d'une chaudière ne doivent pas être exposés au contact de la vapeur, du moins dans le passage que doivent parcourir les parties fondues de l'alliage.

Table de différens alliages d'étain, de plomb et bismuth.

HUIT PARTIES D'ÉTAIN EN POIDS, SUR HUIT DE PLOMB.			
BISMUTH.	COMMENCEMENT de fluidité.	POINT stationnaire.	REMARQUES.
	cent.	cent.	
0,0	200°	180°	Tous ces alliages liquides contenaient des particules solides quand le thermomètre était stationnaire.
0,2	197	175	
0,4	191	176	
0,6	187	179,4	
0,8	»	172,5	
1,0	183	170	
1,4	175	168	
1,8	173	166,6	
2,2	166,6	163,3	Epoque où le point stationnaire est nul.

Par suite de l'augmentation en proportion du bismuth, la température stationnaire ayant disparu, on s'appliqua à rechercher l'époque à laquelle l'alliage commence à se liquéfier, celle à laquelle il cesse d'être liquide et qui était indiquée par la surface de l'alliage qui ne reprend pas son même niveau. Celle à laquelle la solidité était assez diminuée pour que l'alliage puisse être pénétré avec un petit style et une pression modérée; enfin celle à laquelle il était complettement solide. Comme ces températures ne présen-

tent rien d'aussi positif que la température stationnaire, elles ne donnent qu'une approximation. Plusieurs expériences ont démontré qu'il n'y a plus de retrait ou de contraction matérielle à la température comprise entre celle de la fusibilité, et celle où l'alliage n'est plus pénétrable par la tige dont nous avons parlé plus haut.

Table de différens alliages de plomb, d'étain et de bismuth.

HUIT PARTIES D'ÉTAIN EN POIDS, SUR HUIT DE PLOMB.									
BISMUTH.	COMMENCEMENT de liquidité.	COMMENCEMENT de solidité.	SOLIDITÉ difficilement pénétrable.	SOLIDITÉ complette.	BISMUTH.	COMMENCEMENT de liquidité.	COMMENCEMENT de solidité.	SOLIDITÉ difficilement pénétrable.	SOLIDITÉ complette.
	cent.	cent.	cent.	cent.		cent.	cent.	cent.	cent.
[illegible],6	163,3	155,5	153	140,4	5,4	146,1	138	132,5	129
[illegible],0	160,5	155,5	»	140,0	6,2	145,5	131,6	127,2	118,8
[illegible],4	158	154,4	149	146,5	7,0	142,2	125,2	122,2	114,4
3,8	155,5	152,2	148	143,0	7,6	139,5	122,8	117,0	112,4
4,6	149,4	143,3	»	133,0	8,0	132,5	119,0	111,1	102,2

Les points de fusion des métaux employés aux alliages mentionnés dans cette table étaient à 228°,3 pour l'étain à 263° pour le bismuth et à 322° pour le plomb.

La répétition des expériences de Klaproth relativement à la conversion de l'eau en vapeur par un métal chaud fut ensuite le sujet des expériences du comité de Franklin. Il est bien reconnu qu'une certaine augmentation de température dans une surface métallique diminue l'effet de la vaporisation d'un liquide placé au-dessus; l'objet des expériences suivantes fut de rechercher et d'étudier les faits qui accompagnent la vaporisation de l'eau au moyen du fer et du cuivre, en diverses circonstances de températures.

Il fut question d'abord de s'assurer de la température à laquelle une petite quantité d'eau donnée, peut être vaporisée dans le moins de tems possible, par du cuivre, selon les différens états de poli de sa surface.

Ensuite de s'assurer des mêmes points pour le fer, pris en pareilles circonstances.

Enfin de multiplier les expériences en introduisant différentes quantités d'eau dans des bassins de cuivre ou de fer, de différentes épaisseurs, et d'étudier les effets produits se

lon l'état de leurs surfaces, la nature de la chaleur appliquée et le degré de température.

On se procura huit bassins ou vaisseaux sphériques de même figure et de diverses épaisseurs. Ils avaient trois pouces de rayon, trois étaient en cuivre, quatre en fer malléé et un en fer fondu. On appliquait la chaleur à ces vases au moyen d'un bain d'huile ou d'étain contenus dans des capacités cylindriques. Le vase cylindrique qui contenait l'étain avait six pouces et demi de diamètre et quatre de hauteur; l'autre neuf pouces de diamètre et quatre de hauteur. Ces vaisseaux étaient chauffés au moyen d'une lampe à esprit de vin, ou, quand il s'agissait d'obtenir une haute température, au moyen de charbon de bois. Les bassins étaient en outre entourés d'un rebord destiné à contenir de l'huile ou de l'étain.

Les thermomètres employés dans ces expériences furent consultés soigneusement, au point de l'ébullition de l'eau et à celui de la fusion de l'étain.

Les expériences portèrent d'abord sur la vaporisation des gouttes d'eau dans des bassins de cuivre et de fer, depuis leur plus parfait

degré de poli jusqu'à leur dernier degré d'oxidation. Voici les conclusions des expériences du comité, dont nous nous abstenons de donner les détails trop multipliés.

1° Avec le même métal, la température du maximum de vaporisation de l'eau est plus basse, selon que le poli de la surface est plus grand, et la somme de vaporisation dans un tems donné à cette température, est beaucoup diminuée. Dans le cuivre, l'effet du poli et de l'oxidation, les deux extrêmes, est indiqué par la différence relative de la température du maximum de vaporisation dans les deux cas, qui est de 31° C. Ce maximum étant dans le premier cas à 144°,4 C., et dans le second, à 175,4. De plus, le rapport des tems de la vaporisation est comme 12 à 1, ou pour la même goutte d'eau, comme 3 secondes à 1/4 de seconde. Pour le fer, une surface polie donne, pour la température du maximum de vaporisation, 167° ou 170°, tandis qu'une surface oxidée donne 175°, ce ce qui diffère peu des chiffres précédens. Mais quand le fer est fortement oxidé, il donne 194° pour le maximum de vaporisation ; le tems de la vaporisation ne diffère pas beaucoup dans les deux cas.

2° Les températures du maximum de vaporisation pour le cuivre et le fer, leurs surfaces étant en pareil état, diffère de 17° à 22°, le chiffre le plus élevé se rapportant au fer. Le tems de la vaporisation au point maximum, est moindre pour le cuivre que pour le fer, dans le rapport supposé de 2 à 1, ou probablement en raison de leur pouvoir conducteur de la chaleur, qui est comme 2,1 à 1.

3° La température de maximum de vaporisation pour le fer oxidé ou pour le cuivre fortement oxidé, correspond presque à celle où la vapeur d'eau possède une force élastique de neuf atmosphères. Toutefois dans l'expérience, la vapeur ne fut formée qu'au-dessous de la pression atmosphérique.

4° La répulsion entre le métal et l'eau, est parfaite à 11° ou 22° au-dessus des points de maximum de vaporisation; à ces températures l'eau ne peut humecter le métal. Les gouttes d'eau tournent sur elles-mêmes dans des directions variées, quelquefois elles restent en repos et se vaporisent lentement. Quand il y en a peu, elles sautillent verticalement sur la surface du métal; elles paraissent se vaporiser par le côté qui fait face au métal.

Conclusions des expériences faites sur la vaporisation d'une grande quantité d'eau.

1° Le pouvoir vaporisant du cuivre quand on lui applique la chaleur au moyen d'un mauvais conducteur, comme l'huile, s'accroît jusqu'à un certain point avec une grande régularité, à mesure que la température augmente, l'eau exposée sur la surface, étant en petite quantité; les tubes de cuivre chauffés au moyen d'un courant d'air chaud passant au travers, sont dans les mêmes conditions, s'ils sont privés d'eau intérieurement. Ce pouvoir, avec du cuivre dont l'épaisseur est de $\frac{1}{16}$ de pouce, peut être obtenu par une épaisseur beaucoup plus grande. La température à laquelle ce métal possède le plus grand pouvoir vaporisant, est d'environ 298°9 C., ou 111°,6 au-dessous de la chaleur rouge. (selon Daniell).

La loi de la vaporisation de petites quantités d'eau par une épaisseur de cuivre donnée, est représentée avec une singulière similitude par une ellipse, et les températures sont représentées par les abscises, et les tems de la vaporisation, par la différence entre la quantité constante et les ordonnées.

2° Le même pouvoir dans le fer de 0,04 ($\frac{7}{32}$) de pouces d'épaisseur, s'accroît régulièrement, et est à son maximum, probablement à 265°,C. Avec un métal plus épais, le pouvoir s'accroît plus rapidement et à de plus basses températures, et varie très peu comparativement, au-dessus de 193° C., avec une épaisseur qui n'excède pas $\frac{1}{8}$ de pouce et qui n'est pas au-dessous de $\frac{1}{4}$ de pouce. Il atteint son maximum à 263°,5 C., quand les quantités d'eau sont faibles; s'élevant à 288°, et beaucoup plus haut à mesure que la *quantité* d'eau s'accroît relativement à la surface du métal sur laquelle elle est exposée. En quadruplant la quantité d'eau, qui est malgré cela toujours petite, on triple presque le tems du maximum de vaporisation.

3° Quand du cuivre de $\frac{1}{8}$ de pouce d'épaisseur est chauffé au moyen d'un bain d'étain, un des plus mauvais conducteurs, et qui a une chaleur spécifique plus basse que le cuivre, le tems de la vaporisation dans un bassin sphérique, pour une quantité d'eau variable de $\frac{1}{8}$ à $\frac{1}{2}$ de sa capacité entière est triplé, et la température de la plus grande vaporisation, s'élève de 31° ou de 243° à 274°. Quand le bassin d'épreuve avait la moitié de

la portion qui est exposée à la chaleur pleine d'eau, le poids de cette eau était d'environ $\frac{1}{10}$ de celle du métal.

4° Le tems de la vaporisation de différentes quantités d'eau variables de $\frac{1}{8}$ à une once d'eau, dans un bassin de $\frac{1}{4}$ de pouce d'épaisseur, et pourvu de chaleur au moyen d'un bain d'étain, était sensiblement proportionnel à la racine carrée des quantités aux températures de maximum de vaporisation de chacune d'elles.

Ces températures s'élevèrent de 238° C. à 315°, par une augmentation de seize fois environ le poids d'eau, indiquant par là, qu'une considérable quantité d'eau en contact avec le métal, peut être plus rapidement vaporisée que quand le métal est à 93° au-dessous de la chaleur rouge.

5° Quoiqu'un métal rouge, très épais et chauffé fortement, n'empêche pas l'eau de le refroidir au point où elle peut être rapidement vaporisée, il est encore beaucoup au-dessus de la température à laquelle cet effet est le plus énergique. Ainsi une once d'eau fut vaporisée en 13 secondes à environ 288° C. dans un bassin de fer mallée d'un quart de pouces d'épaisseur, et il fallut 115 secondes

pour la vaporiser dans un bassin de fonte de fer d'un demi-pouce d'épaisseur et rouge de chaleur. Quatre onces d'eau dans le dernier bassin, exigèrent environ trois cents secondes, le métal étant rouge quand l'eau y fut introduite, et deux onces se vaporisèrent en 34 secondes à la température de 319° cent..

6° La température de la plus grande vaporisation avec une épaisseur de métal donnée est plus basse dans le cuivre que dans le fer, la force répulsive étant développée à la plus basse température. Avec une égale épaisseur de fer et de cuivre, le pouvoir vaporisant du dernier métal, à son maximum, fut avec le bain d'huile d'un tiers plus grand que celui du premier; et avec le bain d'étain, le pouvoir du cuivre ayant 0,07 de pouce d'épaisseur fut presque égal à celui du fer, ayant $\frac{1}{4}$ de pouce d'épaisseur, chacun des deux métaux, étant pris à leur maximum de vaporisation selon les différentes quantités de liquide employé. Comme les maxima pour le fer sont plus élevés que pour le cuivre, il en résulte un grand avantage pour le cuivre quand les deux métaux sont à une égale température.

[illegible]t général de la rugosité des surfa-

ces est d'élever la température à laquelle le maximum de vaporisation a lieu, et de diminuer le tems de la vaporisation pour une quantité donnée d'eau à une température prise au-dessous du maximum.

8° Quoiqu'il ait été démontré que l'eau placée sur un métal rouge de chaleur est apte à produire de la vapeur explosive, même quand elle ne refroidit pas le métal au-dessous de la température de la plus rapide vaporisation, il n'en est pas moins vrai que le métal à la température au-dessous du rouge obscur de 111°,6, est dans les conditions favorables pour produire une plus rapide vaporisation que quand il est rouge.

Les recherches du comité sur la production des gaz permanens dans l'intérieur des chaudières à vapeur fournirent les résultats suivans.

Le gaz obtenu par l'injection de l'eau au fond d'une chaudière amenée à une chaleur rouge-claire fut du gaz nitreux (1) mêlé à une quantité variable d'oxigène. Ce n'est au fait, que de l'air atmosphérique privé par l'action du métal chaud d'une plus ou moins

(1) Ce gaz est tout-à-fait impropre à la combustion.

grande quantité d'oxigène. Cet air ou gaz provenait du courant qui s'établissait par suite de la cessation de l'action de la vapeur désaturée et de l'assèchement de la chaudière ; il ne saurait toutefois exister en grande quantité dans une chaudière en fonction, bien qu'il s'y introduise de l'air avec l'eau froide alimentaire. L'eau dans une chaudière à vapeur chaude, bien qu'elle ne soit pas décapée, et pourvu qu'elle soit dans un état ordinaire de propreté, n'est point décomposée par le métal.

Nous voici arrivé aux recherches faites pour observer la nature des déchirures ou des éclats qui peuvent être le résultat d'un accroissement de pression dans les chaudières à vapeur de fer ou de cuivre.

On sait que les ruptures produites par une augmentation graduelle de pression dans les chaudières, devaient, à ce qu'on supposait, ne donner lieu qu'à des déchirures partielles, par suite desquelles la vapeur trouvait à s'échapper dans l'atmosphère. Ce fait était particulièrement attribué aux chaudières en cuivre. Pour faire des expériences à ce sujet, on prépara deux petites chaudières, l'une en cuivre, l'autre en fer. Deux expériences pa-

rurent suffisantes pour cet objet, d'autant qu'elles étaient assez méticuleuses et même dangereuses.

Les chaudières employées avaient 8,5 pouces de diamètre et 10 à 12 pouces de longueur. Celle de fer avait une épaisseur de 0,02 de pouces et celle de cuivre de 0,03. Elles étaient pourvues de fonds convexes de 0,05 pouces d'épaisseur, liés au corps principal au moyen de rivures en fer très rapprochées. Une ouverture était pratiqué à un des fonds de chaque chaudière pour l'introduction de l'eau. Elles étaient ensuite bouchées au moyen d'un boulon à écrou dans lequel on avait ménagé un tube à piston *a*, fig. 42. Ce piston était muni d'un ressort, de telle façon qu'il était apte à obéir à la pression plus ou moins grande de la vapeur, et à marquer son énergie au moment de l'explosion.

Le bouilleur de fer fut placé dans un fort cylindre de tôle, qui servait de cuirasse et de fourneau, l'axe du bouilleur était horizontal, tandis que celui du fourneau était vertical. Le bouilleur ayant été à moitié rempli d'eau fut placé sur un feu de charbon de bois, et quand l'eau fut entrée en ébullition, on mit l'écrou jauge en place.

On se ménagea, d'ailleurs, la faculté de retirer le bouilleur du feu, sans en approcher au moyen d'une corde et d'une poulie. Au premier essai, une rivure s'ébranla et la vapeur s'échappant par cette ouverture, on dut recommencer et remplir de nouveau la chaudière. Le feu fut rallumé et la chaudière remise en place, l'explosion se déclara. Le feu ne s'élevant pas tout-à-fait jusqu'à la moitié de la chaudière, produisait toute son activité par dessous. La vapeur s'échappait encore un peu par l'ouverture du rivet qui s'était précédemment ébranlé; cependant à mesure que l'expérience avançait, la fuite parut devenir constante. On pensait par le tems qui s'était écoulé pendant que la vapeur s'échappait, qu'on serait encore obligé de recommencer l'opération lorsque la chaudière fit explosion. Par suite de cette explosion, un des fonds *b*, *c*, fut chassé d'un côté, tandis que l'autre partie de la chaudière fut projetée dans une direction opposée, entraînant avec elle jusqu'à une certaine distance, le cylindre qui servait de fourneau et dans lequel elle était placée. Le feu fut éparpillé dans toutes les directions. L'effet fut semblable à celui d'un petit mortier éprouvette chargé en plein:



la vapeur mêlée à la fumée ne se produisit pas en grande quantité, et on ne retrouva que peu de traces d'eau. Le fond du bouilleur fut lancé à 15 pieds, et le bouilleur à 6. Quant au fourneau, son poids était de 45 livres, et il fut porté, après avoir été retourné, à 4 pieds de distance. La pression indiquée par le piston jauge fut de 11, $\frac{1}{4}$ atmosphères.

En examinant la chaudière, il paraît que le fond *b*, *c*, qui fut projeté en dehors, choquait d'abord contre la paroi en tôle du fourneau, qui, ainsi que lui en portait les marques; le fond se sépara de la chaudière selon la ligne de rivures qui est aussi celle de moindre résistance du métal. L'autre fond convexe avait aussi choqué le fourneau en le retournant, et était venu avec la chaudière jusqu'à s'appuyer contre la muraille voisine, à 4 pieds de distance. Le piston jauge fut un peu plié pendant l'expérience.

Les circonstances de cette expérience démontrent que, malgré la fuite du rivet, la vapeur augmentait plus en pression, par suite de l'intensité du feu, qu'elle n'était susceptible de décroître par suite de la diminution de la quantité d'eau; et qu'à un certain point

de tension (11 atmosphères), la chaudière éclata avec violence.

La fig. 42 donne une idée de l'état de la chaudière après l'explosion.

On remplaça ensuite la chaudière de fer par celle de cuivre. Mais cette dernière, un peu plus longue que la première, ne put pas descendre aussi bas dans le fourneau ; en outre, elle fuyait beaucoup et on fut obligé de renouveler l'eau et de mieux disposer le feu. La partie où se trouvaient les fuites fut tournée en bas : le feu fut renouvelé ; mais la pression eut de la peine à s'élever. Avant l'explosion il n'arriva rien de remarquable ; mais dans l'instant de l'évènement, une fumée noire et dense mêlée de vapeur se produisit ; les briques du fourneau et le feu furent projetés, épars, et la chaudière fut lancée dans une seule masse, à environ quinze pieds du fourneau. Le bruit fut semblable à celui d'un mortier de 8 pouces.

La chaudière fut déchirée comme le montre la fig. 43, selon une ligne irrégulière qui fut probablement voisine du niveau de l'eau. A, et d, étaient les points qui correspondaient ... basse de la chaudière avant l'ex- ... feuille de cuivre du bouilleur

était retournée et pliée, ainsi que celle des fonds, en divers sens. L'épaisseur du cuivre le long de la ligne de rupture, variait depuis 0,025 à 0,035 de pouces, et le métal paraissait avoir supporté une forte chaleur à une des extrémités de la déchirure. Le piston de la jauge était plié, l'écrou s'était brisé et l'instrument entier était fortement endommagé ; il paraît même qu'il avait choqué contre les parois du fourneau. Dans tous les cas, il ne put donner aucune indication sur la pression de la vapeur lors de l'explosion (1).

Les circonstances précédentes démontrent que la vapeur augmente graduellement d'élasticité jusqu'à ce que la chaudière fournisse une issue. Il est possible qu'il y ait une relation entre l'espace occupé par l'eau et celui dans lequel la vapeur est fournie, qui soit plus favorable pour la production de la vapeur, et que quand elle est obtenue, elle donne lieu à une augmentation rapide d'élasticité.

(1) En admettant que la force du cuivre soit de 36,000 livres par pouce carré, et qu'elle n'ait pas été altérée par la chaleur, en négligeant aussi les effets de de la température, on trouvera par le calcul que la pression de la vapeur lors de l'explosion, devait être d'environ seize atmosphères. Il n'y a pas de doute qu'elle n'atteignoit pas ce chiffre.

Relativement à ce dernier cas, la trace des sédimens dans la chaudière indiquait qu'il n'y avait dans sa capacité intérieure, quand elle a fait explosion, qu'environ un pouce d'eau.

Ces expériences et les précédentes dont nous avons parlé plus haut, sont directes et concluantes : elles démontrent que toutes les circonstances qui accompagnent les plus violentes explosions peuvent s'expliquer sans l'accroissement spontané de pression dans les chaudières. Il n'y a point de doute cependant que si quelques parties d'une chaudière, par suite de l'usure ou d'un défaut de construction, etc., sont devenues plus faibles que les autres, elles peuvent produire des fuites qui préviendraient de semblables catastrophes.

La neuvième expérience que le comité de de Franklin avait à faire, était relative à celle de Perkins, sur la répulsion qu'il prétend exister entre les particules fortement chauffées du fer et l'eau en général, ensuite aux moyens d'obtenir, s'il était possible, une mesure de l'étendue de cette répulsion, en vue de déterminer son influence sur les soupapes de sûreté.

[illegible]mier essai à ce sujet, fut fait sous

la pression de l'atmosphère. Un bassin de fer d'environ $\frac{1}{16}$ de pouce d'épaisseur, et ayant le fond perforé de petits trous, fut chauffé avec du charbon de bois jusqu'à la couleur rouge, et on y versa de l'eau. La masse de métal du bassin étant petite, il fut rapidement refroidi à une chaleur au-dessous du rouge, la répulsion qui d'abord se manifesta entre l'eau et le fer cessa, et l'eau s'écoula promptement au travers des ouvertures du fond. Deux bassins plus épais furent employés, un de tôle, ayant $\frac{3}{8}$ de pouces d'épaisseur, l'autre en fonte de fer de $\frac{7}{16}$ de pouces d'épaisseur; le fond de chacun d'eux était percé de trous qui avaient environ 0,04 de pouces de diamètre. Quand ces deux vases furent placés sur le feu et remplis d'eau, la température fut plus tôt réduite dans le vase de tôle, mais jusqu'à ce que cette réduction se fut opérée, les résultats furent les mêmes que pour le bassin en fonte de fer. Dans ce dernier, l'eau restait sur le fond sans passer au travers des trous, soit en vapeur, soit à l'état liquide. La vapeur se formait lentement et s'échappait par la surface ouverte du vase exposée à l'air libre.

La masse du liquide était à une tempéra-

ture au-dessous du point d'ébullition. Les ouvertures étaient très visibles et paraissaient s'être contractées d'environ la septième partie de leur diamètre. La répulsion était telle que l'échappement du liquide devenait très difficultueuse, plus que ne l'est celle du mercure à une température ordinaire. En remuant le vase sur le feu, l'eau ne passait pas encore, et ce ne fut que quand il commença à se refroidir, que quelques particules d'eau passèrent par intervalles au travers des ouvertures. A une température plus basse, de larges gouttes d'eau furent ramassées et elles finirent par se former en filet. Quelques mesures assez grossières de la quantité d'eau filtrée quand le bassin fut chauffé dans de l'eau à diverses températures, démontrèrent les grandes diminutions qui résultent d'une forte chaleur. Ces résultats n'étaient pas dus à l'obstruction des ouvertures par suite de la dilatation du métal par la chaleur, puisqu'elles étaient très visibles à la chaleur rouge.

Les mesures rapportées ci-dessus furent [illegible] A 14° cent. 3, 3 $\frac{5}{8}$ onces d'eau passè[illegible]avers des trous du bassin de fonte [illegible]ondes. La masse entière d'eau étant [illegible]e.

Dans une autre expérience à 15°,5, C. 3 $\frac{3}{4}$ d'onces passèrent au travers des trous. L'eau à 14°3, ou à 15°,5 étant versée dans le bassin préalablement chauffé à 26°,6, 3 $\frac{1}{4}$ onces d'eau filtrèrent. Quand il fut chauffé à 76°,5, 2·$\frac{7}{8}$ onces passèrent dans le même tems, et quand il fut chauffé à 343°, il n'en passa que 2 $\frac{1}{16}$.

Dans une autre série d'épreuves, le même bassin étant chauffé jusqu'au rouge, quatre onces d'eau furent parfaitement repoussées pendant 15 secondes, et pendant la première demi-minute, $\frac{3}{8}$ d'once seulement passèrent au travers des ouvertures. Le bassin se refroidissant, de cette quantité de quatre onces, 1, $\frac{5}{12}$, filtrèrent en 30 secondes, et ensuite 2, $\frac{1}{4}$ dans le même tems.

On peut induire de ces expériences que la force de répulsion entre l'eau et un métal chauffé est appréciable même à des températures modérées, et qu'elle s'accroît avec l'augmentation de température du métal, celle de l'eau étant dans chaque cas la même. Elles confirment sous ce rapport, les lois de la vaporisation de l'eau par un métal à différentes températures.

La pression de la colonne d'eau supportée

par les ouvertures, à la température de 343° et à celle de 425°, qui correspond à celle du fer rouge, était moindre que celle qui est relative à 1 $\frac{1}{2}$ pouce d'eau d'épaisseur.

L'expérience de Perkins, qui fait plus particulièrement l'objet de ces recherches, reposait sur une observation qu'il avait faite et d'où il était résulté que quand une ouverture était pratiquée à un de ses générateurs contenant de l'eau fortement échauffée et en contact avec le métal rouge, la vapeur ni l'eau ne s'échappait par elle, et si on appliquait au même vaisseau un tube à robinet, il ne s'échappait pas encore quand il était ouvert. Pour s'assurer de ces faits, trois ouvertures de $\frac{1}{16}$, $\frac{1}{8}$ et $\frac{1}{4}$ de pouce furent pratiquées sur les côtés d'une bouteille à mercure en tôle (1). Elles furent bouchées au moyen d'un tampon conique surmonté d'un levier qui donnait de la facilité pour les enlever. Cette bouteille fut placée au milieu du cylindre de tôle dont on s'était déjà servi lors des expé-

(1) Comme il ne parut pas au Comité que les essais en question pussent procurer quelqu'utilité quant à l'application aux soupapes de sûreté, on ne crut pas devoir faire les frais d'un appareil particulier disposé [illegible]

riences sur les effets des explosions, et un fourneau en maçonnerie fut établi au-dessous de la bouteille et autour du cylindre de tôle. Ce dernier avait aussi pour but de garantir les observateurs en cas d'explosion de la part de la bouteille. Cet appareil fut placé dans une fosse carrée adjacente à celles qui avaient déjà servi lors des explosions des chaudières.

On introduisit de l'eau dans la bouteille et on la remplit; après cela elle fut bouchée avec soin, avec un bouchon à écrou solidement fixé et rivé au moyen du marteau. Le feu fut allumé et la flamme s'éleva au-dessus de l'appareil, après avoir rempli tout l'espace compris entre la bouteille et le cylindre en tôle; un cordon fut attaché au levier du plus petit tampon : bientôt le feu s'alluma avec vivacité et on s'aperçut qu'une petite quantité de vapeur se mêlait avec la fumée et l'air échauffé qui s'élevaient au-dessus de l'appareil. Environ vingt minutes après le commencement de l'expérience, la fuite de vapeur parut s'accroître, et on essaya, mais sans succès, de l'arrêter; dans ce tems on vit la bouteille acquérir la chaleur rouge obscur. On pensa qu'une petite portion de l'eau avait

pu s'échapper par la plus petite ouverture qui n'était pas parfaitement tamponée, et on devait la supprimer, mais peu de minutes ayant suffi pour donner à la bouteille une chaleur complètement rouge, la plus violente explosion s'en suivit, des parties de la bouteille furent projetées en l'air, le cylindre de tôle fut déplacé, le fourneau mis en pièce et le feu lancé dans le voisinage. Après avoir achevé d'éteindre le feu, on trouva que le cylindre qui, avec tout son appareil pesait environ 61 $\frac{1}{4}$ livres avait été déplacé de quatre pieds au-delà de son siége; les leviers des tampons avaient été brisés, le fond de la bouteille s'était enfoncé dans le sol en passant au travers des débris du fourneau. Une barre de fer qui supportait le cylindre, fut lancée à trente pieds et s'enfonça de trois pouces dans le sol au terme de sa chute. Des fragmens de la bouteille furent trouvés à 90 pieds de distance du point de l'explosion, ayant pénétré à deux pieds dans le sol. Le bruit fut semblable à un coup de canon de 12 fortement chargé.

Cette expérience prouve d'abord que la vapeur produite par de l'eau fortement [illegible] très bien pénétrer au travers

d'une très petite ouverture. Quoique cela ne prouve rien relativement à un vaisseau qui ne contient que de l'eau, cependant on fut témoin d'un effet qui s'est produit quand il n'y avait qu'une très petite quantité de vapeur dans l'appareil. Cette expérience a vérifié les inductions de la théorie, qu'une petite portion d'eau fortement chauffée, peut se produire en vapeur explosive quand spontanément on diminue la pression ; elle montre aussi le grand danger que l'on court à expérimenter sur de l'eau fortement chauffée, même dans des vaisseaux très résistans où on lui a ménagé les moyens de pouvoir se dilater, ce qui est contraire à l'opinion de beaucoup de personnes ; enfin elle montre qu'il est très dangereux d'essayer de répéter les expériences de Perkins à moins qu'on ne se serve d'un appareil capable de résister aux plus hautes pressions.

Les expériences du comité de Franklin, sur les soupapes de sûreté, sur leur adhérence aux parois de leurs siéges et sur la préférence qu'on attache à la forme de disques, n'ont rien offert de particulier qui mérite de prendre place ici. Il en est de même des incrustations ou dépôts qui se forment dans l'inté-

rieur des chaudières. Quant aux expériences faites pour constater les forces relatives de la vapeur d'eau saturée à différentes températures, la table qui a été dressée à ce sujet par MM. Arago et Dulong nous paraît mériter toute la confiance du public : nous l'avons donnée dans le commencement de ce volume.

La conclusion générale du rapport de l'institut de Franklin fut que les explosions peuvent être le résultat d'une augmentation graduelle de pression même dans une chaudière où le niveau d'eau est bon. Que ces accidens peuvent être produits par le défaut d'action de la part des soupapes de sûreté et de la jauge à mercure, ou par l'imprudence des chauffeurs ou mécaniciens qui, voulant augmenter l'effet de la machine, surchargent la soupape de sûreté. Que l'adhésion des soupapes sur leur siége a été reconnue possible par suite d'un événement arrivé sur le paquebot le *Législateur*, dont la soupape ne se souleva pas quand le manomètre indiquait une pression sous laquelle elle devait cependant fonctionner. Que cette adhésion est due plus particulièrement à un état stationnaire trop prolongé ...ques sur leur siége, et qu'il convient de ...anger de tems en tems en les soulevant.

Que l'expérience de M. Clément, de laquelle il résulterait qu'une pression inverse s'établit au-dessus des disques quand ils sont soulevés d'une petite quantité, n'a pas été confirmée dans les expériences du comité. Que si cette différence entre les résultats obtenus dépend des proportions entre la surface des disques et celle de l'ouverture, il est possible d'y obvier entièrement, en augmentant ces mêmes proportions, et en construisant les leviers de manière à ce que la charge qui appuie la soupape, diminue à mesure que le soulèvement s'opère. Quant à la forme de soupape, le comité recommande les disques plats, d'un diamètre qui n'excède pas une fois et demi celui du siége; que chaque chaudière soit pourvue de deux soupapes, capables de décharger la vapeur produite dans le travail ordinaire de l'appareil. La première sera étampée et marquée par le constructeur même. Le levier gradué d'après le calcul, portera l'indication des différentes charges, et celle maxima sous laquelle elle doit s'ouvrir, quand le poids mobile sera placé à des distances convenables sur le levier. Le poids ne pourra pas s'éloigner de cette dernière position. La seconde soupape sera chargée d'un

poids immuable correspondant à la pression sous laquelle la machine doit travailler. Cette soupape doit être fabriquée de manière à ce qu'elle puisse se soulever, mais non pas de manière à ce qu'elle puisse être surchargée d'un poids additionnel. Elle doit être enfermée sous clé, sans cependant que sa cage empêche les fonctions de la soupape, qui doit pouvoir se soulever au moins d'une quantité égale à la moitié de son rayon.

On attachera à la soupape à vue une corde pour la remuer quand l'autre fonctionne, et on s'assurera au moins une fois toutes les deux heures du jeu de chaque soupape. Le comité recommande aussi l'emploi des manomètres ouverts à mercure, et celui des thermomètres pour s'assurer de la température de la vapeur saturée.

Relativement aux plaques fusibles, le comité pense qu'aucune application utile ne peut en être faite.

Le comité ne doutant pas que les luttes ou concours de vitesses n'aient été une des principales causes d'explosion, pense qu'il serait utile de les défendre par une loi.

Les [illegible]ces du comité sur les cas d'explo[illegible]es par la présence d'un mé-

tal surchauffé dans la chaudière, produisirent les conclusions suivantes.

Dans une chaudière à vapeur convenablement construite, aucune partie du métal n'est exposée à l'action directe du feu, sans être immédiatement en contact avec l'eau. La température du métal ne peut s'élever au-dessus de celle de l'eau, qui est déterminée par la charge de la soupape de sûreté. Quand, par quelque cause particulière, le métal n'est pas dans de pareilles conditions, il se surchauffe, et le danger peut provenir de deux circonstances particulières, la première, de ce que le métal est devenu moins résistant, la seconde, de ce qu'il se transforme en réservoir de chaleur qu'il cède à l'eau pour le convertir en vapeur fortement élastique, quand cette dernière se met en contact avec lui.

Par ces expériences, le comité a trouvé ce fait curieux, que la tenacité du fer s'accroît à mesure qu'on élève sa température jusqu'à une certaine époque, maximum qui correspond à une température supérieure à celle sous laquelle beaucoup de machines à vapeur fonctionnent. Passé ce maximum, la tenacité décroît rapidement; à la chaleur rouge.

elle n'est plus qu'un $\frac{1}{6}$ de ce qu'elle est à la température ordinaire. La tenacité du cuivre décroît, à partir de la température de 32° F. (0° cent.)

Relativement à la vapeur d'une forte élasticité qui peut se produire par le contact de de l'eau contre le métal surchauffé, on a vu, par les expériences de Klaproth, que des gouttes d'eau introduites successivement dans un bassin de fer chauffé jusqu'au rouge, se vaporisaient d'autant plus vite que le métal perdait de sa température. Dans les expériences de Perkins ou d'autres personnes, une grande quantité d'eau contenue dans des vaisseaux fortement chauffés, se vaporisait lentement. Il est vrai que par une injection d'eau dans un cylindre de fer très chaud, M. Perkins trouve un accroissement spontané d'élasticité; mais il attribue cet effet à la vapeur surchauffée et désaturée que le cylindre contenait, et au travers de laquelle on opérait l'injection. Le comité a trouvé que la température à laquelle le fer dans son état de propreté ordinaire vaporisait le plus promptement des gouttes d'eau, était celle de 334° F. ([illegible]5° cent). Le développement de la force [illegible]e est si rapide au-dessus de cette tem-

pérature, que les gouttes d'eau qui exigeaient une seconde pour disparaître à la température du maximum de vaporisation, en demandaient 152 quand le métal était chauffé à 395° F. (201°,6 cent). Un huitième d'once d'eau introduite dans un bol de fer de $\frac{1}{16}$ de pouce d'épaisseur, chauffé au moyen d'un bain d'huile à la température de 546° F. (286° cent.) fut vaporisée en quinze secondes, tandis que à la température de 507° F. (264° cent.), qui est celle de la plus grande vaporisation, dans ces circonstances, elle disparaissait en treize secondes. L'effet refroidissant de l'eau sur le métal, est ici démontré d'une manière frappante par l'augmentation de température à laquelle ce dernier avait été porté au commencement de l'expérience, afin d'obtenir la plus rapide vaporisation. Une autre explication de même genre est fournie par la comparaison de la température donnant la plus rapide vaporisation quand le métal du bol est chauffé par un bon ou mauvais conducteur, avec un bain d'étain ou d'huile; avec une surface rugueuse, un bol de fer d'un quart de pouce d'épaisseur vaporisait un huitième d'once d'eau plus rapidement à la température de 555° F. (290° cent.), quand ce

était échauffé au moyen d'un bain d'huile : que lorsque le bol était chauffé par un bain d'étain, dans ce cas, la température correspondante n'était que de 508° F. (264° cent.)

En donnant de l'extension à cette idée, nous trouvons la limite d'action de l'eau jetée en grande quantité sur un métal surchauffé ; quand cette quantité s'accroît de 16 fois son poids ou d'un huitième d'once à deux onces, la température de la plus grande vaporisation passe de 460° F. (237° cent.) à 600° F. (315° cent.) : la surface du métal étant polie et la chaleur étant appliquée au moyen d'un bain d'étain. Maintenant, quoique les différences dans la manière d'appliquer la chaleur puissent altérer ces températures, il est évident qu'elles s'élèvent avec l'accroissement de la quantité d'eau jetée sur le métal. Dans le cas où le bol fût rempli d'eau autant qu'il pouvait en contenir, et sans qu'il y eût perte par l'ébullition, la température de la plus grande vaporisation sur une surface polie fut de 600° F. (315° cent.) ou environ 200° F. (111°) au-dessous de la chaleur rouge, elle serait par analogie plus élevée, si la sur[illegible] métal était rugueuse ou oxidée.

Ces observations rendent raison de la production de vapeur fortement tendue qui fut le résultat, dans les expériences du comité, d'une injection d'eau dans une chaudière chauffée jusqu'au rouge clair. Dans une de ces expériences, une injection de 10 onces d'eau, accrut en moins de deux minutes l'élasticité de la vapeur à plus de 12 atmosphères et produisit une espèce d'explosion. Les remarques faites dans cette expérience montrèrent que partout où l'eau glissait au fond de la chaudière, le métal s'obscurcissait d'abord par une réduction spontanée de température, et cela dans les circonstances défavorables d'une quantité d'eau limitée. Le fond de la chaudière était propre, mais non pas poli. Le tems pendant lequel se produisit la vapeur explosive dans cette expérience, ne peut pas encore servir de règle; mais on peut affirmer qu'une soupape de sureté qui, dans les circonstances ordinaires pourvoirait avec efficacité à une accumulation de vapeur, serait tout-à-fait insuffisante dans le cas dont il s'agit.

Plusieurs exemples confirment les résultats de cette expérience. Le mécanicien du *Grampus* s'aperçut que l'appareil évaporatoire de ce --

vire qui se composait de 6 cylindres de 38 po. de diamètre, contenait très peu d'eau; au moment où l'alimentation se produisit, les 6 cylindres firent explosion simultanément. Quand un des bouilleurs du *Car of commerce* fit explosion, il fut bien reconnu que la pompe alimentaire était dérangée et qu'elle ne fournissait plus la quantité d'eau nécessaire, et ce fut précisément au moment même où l'appareil alimentaire fut rétabli en bon ordre, que le sommet du bouilleur se détacha avec explosion. Ce bouilleur parut être d'une construction différente de celles avec lesquelles il communiquait.

Il ne faut pas cependant inférer de ce qui vient d'être dit, que l'explosion est une conséquence nécessaire de la présence d'un métal surchauffé; car on a des exemples de garnitures de pistons brulées, de chemises en bois, de cylindres et de chaudières, qui se sont enflammés sans qu'on pût attribuer ces événemens à la proximité des fourneaux.

Les autres circonstances auxquelles le comité pense pouvoir attribuer les explosions où les destructions, sont dues aux défauts de con- [illegible] des chaudières et des appareils con- [illegible] manque de soin et à l'ignorance de



ceux à qui on confie les machines à vapeur, enfin aux cas d'écrasemens résultant du vide qui pourrait se produire dans l'intérieur des chaudières.

MESURES ANGLAISES COMPARÉES AUX MESURES FRANÇAISES.

Mesures de longueur.

Pouce ($\frac{1}{36}$ du yard)......	2,539954	centimèt.
Pied ($\frac{1}{3}$ du yard)........	3,0479449	décimèt.
Yard impérial............	0,91438348	mètres.
Sathom (2 yards).........	1,82876696	*Idem.*
Pole ou perch (5 $\frac{1}{2}$ yards)..	5,02911	*Idem.*
Furlong (220 yards).......	201,16437	*Idem.*
Mile (1760 yards)........	1609,3149	*Idem.*
Millimètre...............	0,03937	pouces.
Centimètre...............	0,393708	*Idem.*
Décimètre...............	3,93708	*Idem.*
Mètre. {	39,37079	*Idem.*
Mètre. {	3,180899	pieds.
Mètre. {	1,093633	yards.
Myriamètre..............	6,2138	miles.

Mesures de superficie.

Anglaises.	Françaises.	
Yard carré..............	0,836097	mèt carré.
Rod (perche carrée).......	25,291939	*Idem.*
Rood (1210 yards carrés)...	10,116775	ares.
Acre (4840 yards carrés)...	0,404671	hectares.
Françaises.	**Anglaises.**	
Mètre carré..............	1,196033	yards carr.
Are.....................	0,098840	rood.
Hectare.................	2,473614	acres.

Mesures de capacité.

Anglaises.	Françaises.	
Pint ($\frac{1}{8}$ de gallon)...... ...	0,567932	litres.
Quart ($\frac{1}{4}$ de gallon).......	1,135864	*Idem.*

Gallon impérial...........	4,54345794	*Idem.*
Peck (2 gallons)..........	9,0869159	*Idem.*
Buschel (8 gallons)........	36,347664	*Idem.*
Sack (3 buschels).........	1,09643	hectolitr.
Quarter (8 buschels)......	2,907813	*Idem.*
Chaldron (12 sacks).......	13,08516	*Idem.*

Françaises.	Anglaises.	
Litre.. {	1,760773	pint
....	0,2200967	gallons.
Décalitre.................	2,2009667	*Idem.*
Hectolitre.................	22,009667	*Idem.*

POIDS.

Anglais. Troy.	*Français.*	
Grain (24ᵉ de pennyweight).	0,06477	grammes.
Pennyweight (20ᵉ d'once)..	1,55456	*Idem.*
Once (12ᵉ de livre troy).....	31,0913	*Idem.*
Livre troy impériale.......	0,3730956	kilog.

Anglais, avoir du poids	*Français.*	
Drams (16ᵉ d'once)........	1,7712	grammes.
Once (16ᵉ de la livre).......	28,3384	*Idem.*
Livre, avoir du poids........	0,4534148	kilog.
Quintal (112 livres)........	50,78246	*Idem.*
Ton (20 quintaux).........	1015,646	*Idem.*

Français	*Anglais.*	
Grammes .... {	15,438	grains troy.
	0,643	pennywei.
	0,03216	once troy.
Kilogramme................ {	2,68027	livres troy.
	2,20548	l. av. du p.

FIN DU PREMIER VOLUME.



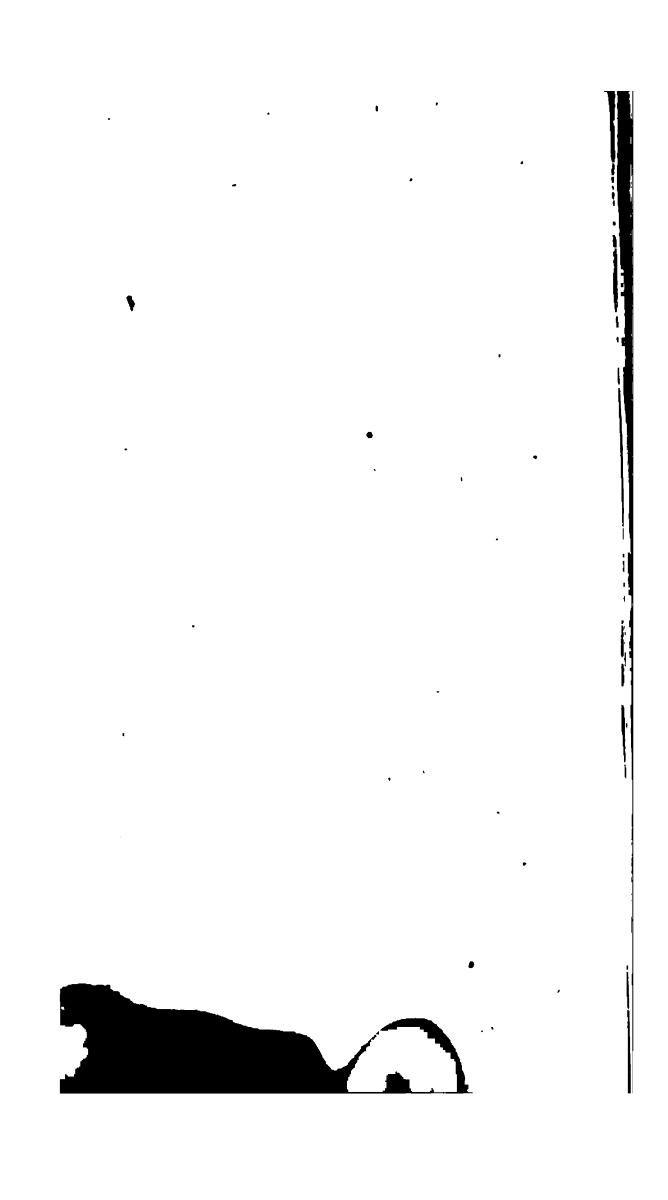
TABLE DES MATIÈRES

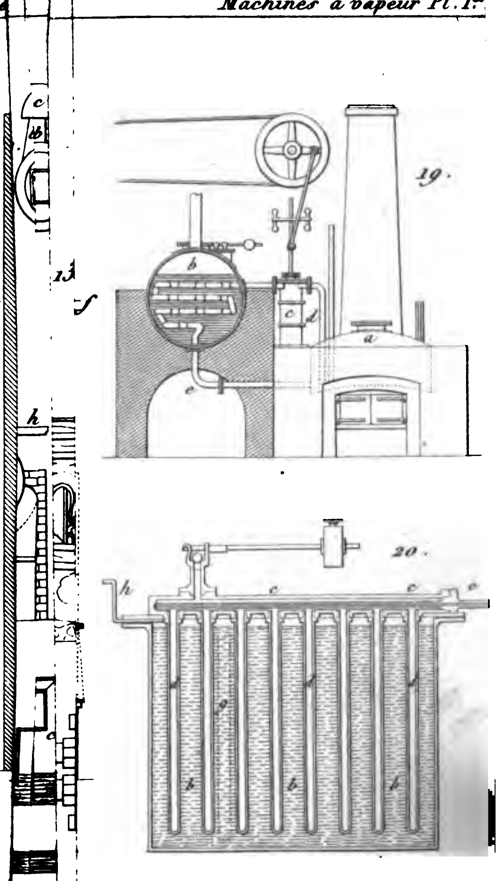
DU

PREMIER VOLUME.

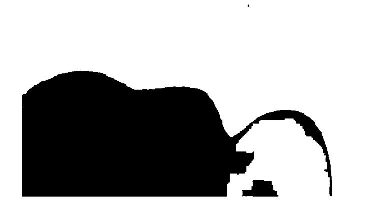
FIN DE LA TABLE DU PREMIER VOLUME.

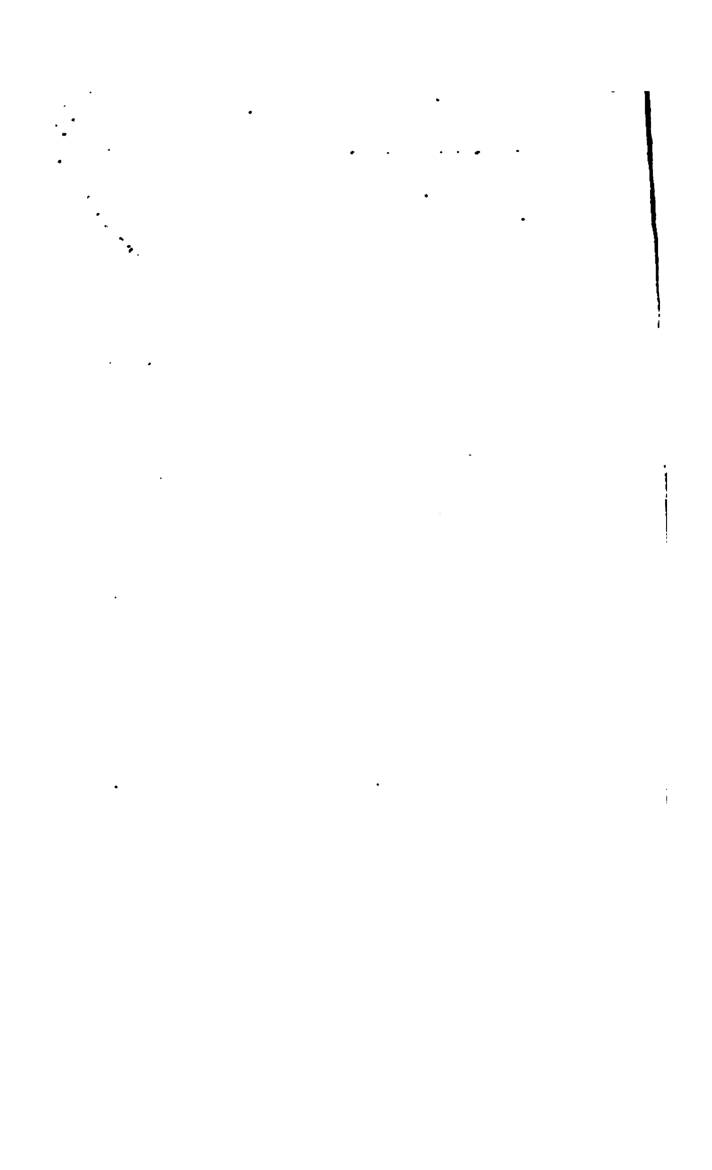
TOUL, IMPRIMERIE DE Ve BASTIEN.




19.
20.
13
f
Guiguet del et







[illegible]

